



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Meteorologia

CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIAS OBSERVADAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Pedro Regoto de Souza

Orientadora: D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

Coorientador: M. Sc. Wanderson Luiz Silva

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da

Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à

obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Novembro, 2017

CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIAS OBSERVADAS DE EXTREMOS
DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Pedro Regoto de Souza

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

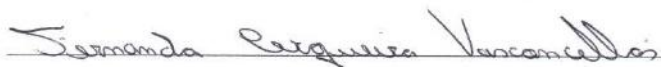
Aprovada por:



Prof.^a D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski



M. Sc. Wanderson Luiz Silva



Prof.^a D. Sc. Fernanda Cerqueira Vasconcellos



Ph. D. Sin Chan Chou

Rio de Janeiro, RJ

Novembro, 2017

CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIAS OBSERVADAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

REGOTO, PEDRO

Climatologia e Tendências Observadas de
Extremos de Precipitação no Estado do
Espírito Santo

[Rio de Janeiro], 2017

Monografia – Universidade Federal do Rio
de Janeiro, Departamento de Meteorologia

1. Aquecimento Global
2. Mudanças Climáticas
3. Climatologia
4. Chuva
5. Região Sudeste do Brasil

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

(Simone de Beauvoir)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por todas as oportunidades que obtive durante a graduação, pelas pessoas que conheci e que me ajudaram muito, por toda a força, determinação, foco, alegrias e tristezas que marcaram essa jornada da minha vida.

Agradeço muito aos meus pais e irmão por sempre me apoiarem e todas as minhas decisões envolvendo minha carreira profissional, por estarem sempre presentes nos momentos mais felizes e, principalmente, nos mais difíceis.

À minha família por em todos os passos, desde a dúvida de escolher o que fazer para o vestibular até minha formatura da graduação, me apoiarem não importa o que eu decidisse, estavam sempre ao meu lado.

Um obrigado absurdamente especial para os meus orientadores Claudine e Wanderson, duas pessoas que marcaram a minha vida de uma maneira extremamente impactante. Primeiro, a Claudine por além de executar seu papel de orientadora, tanto aconselhando na minha vida acadêmica mas também, muitas vezes, na minha vida pessoal, foi uma verdadeira “mãe acadêmica”. Ao Wanderson por ter me encontrado desde o segundo período da graduação, por ter tido uma eterna paciência de me ensinar diversos softwares e afins, em qualquer dia da semana e horário.

Gostaria, também, de agradecer muito à Chou, por disponibilizar seu tempo, casa, para que eu pudesse ir ao CPTEC para aprender, conhecer de forma mais prática a meteorologia. Além disso, um muito obrigado a toda equipe da Chou e, principalmente, ao André Lyra por ter corroborado durante boa parte da minha graduação em termos de ensinamento desde o básico do linux/grads, até conhecimentos mais avançados em como rodar/operacionalizar um modelo numérico como o Eta.

Um eterno obrigado aos meus amigos verdadeiros que conquistei durante toda a graduação, Tales, Hassan, Italo, Renan, Luizinho, Mateus e Marcely por me apoiarem e criticarem, por me ajudar a estudar para as provas, fazer trabalhos tanto de disciplinas como para congressos.

Agradeço também a todos os que participaram de alguma forma de toda a minha caminhada até aqui, contribuindo com conhecimento, amizade, alegria, tristeza, sonhos...

RESUMO
TENDÊNCIAS DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA O
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Pedro Regoto de Souza

Novembro/2017

Neste trabalho elaboram-se análises da variabilidade espacial das tendências dos indicadores de extremos de precipitação no estado do Espírito Santo (ES). Além disso, são analisadas as climatologias (1971-2010) de indicadores de tais extremos. O objetivo é detectar possíveis mudanças no comportamento da precipitação, a fim de contribuir com medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Para isso são utilizadas séries de chuva diária, com mais de 40 anos de dados, coletadas em 80 postos da Agência Nacional de Águas localizados no ES. Os cinco indicadores anuais analisados neste trabalho são: total pluviométrico (PRCPTOT); percentil 95 da precipitação diária (R95p); máxima precipitação em 5 dias consecutivos (RX5day); número de dias do ano em que a precipitação diária é igual ou superior a 30 mm (R30mm) e número máximo de dias secos consecutivos no ano (CDD). Os resultados referentes às climatologias dos indicadores mostram que os máximos de PRCPTOT se encontram à barlavento da Serra do Castelo (2097 mm) e sobre a Serra do Caparaó (1890 mm). PRCPTOT é reduzida em direção ao norte do estado, onde um mínimo de 873 mm ocorre sobre o sul da mesorregião Noroeste, uma área afastada do oceano e à sotavento da Serra do Castelo. A distribuição espacial dos demais índices de precipitação acompanham o padrão descrito para PRCPTOT, ou seja, máximos (mínimos) de R95p, RX5day e R30mm e mínimo (máximo) de CDD sobre as regiões serranas (mesorregiões Noroeste e Litoral Norte). A frequência e intensidade dos dias chuvosos e da precipitação diária extrema estão aumentando no estado do Espírito Santo, principalmente na região sul. Além disso, aumentos

em CDD predominam no estado, indicando um prolongamento da estação seca e, portanto, uma má distribuição da precipitação ao longo do ano.

ABSTRACT

EXTREME PRECIPITATION TRENDS IN THE STATE OF ESPIRITO SANTO

This study provides analyzes of the spatial variability of trends in extreme precipitation over Espírito Santo State (Southeastern Brazil). We also examine the climatology (1971-2010) of extreme precipitation indices. The objective is to detect possible changes in extreme precipitation behavior in order to contribute for mitigation and adaptation measures to climate change. We examine daily rainfall dataset with more than 40 years of data observed at 80 rain gauges stations operated by the Brazilian National Water Agency. The five annual indices analyzed in this study are: total precipitation (PRCPTOT); 95th percentile of daily precipitation (R95p); maximum consecutive 5-day precipitation (RX5day); count of days when precipitation is equal or greater than 30 mm (R30 mm) and maximum number of consecutive dry days in the year (CDD). Our results indicate that maximum PRCPTOT are located at the windward side of Serra do Castelo (2097 mm) and on Serra do Caparaó (1890 mm). PRCPTOT is reduced towards the north of the state, where a minimum of 873 mm occurs on south of the Northwest mesoregion. The spatial distribution of other precipitation indices follows the pattern described for PRCPTOT: R95p, RX5day and R30mm maximum (minimum) and CDD minimum (maximum) over the mountainous regions (Northwest and North Coast mesoregions). The frequency and intensity of rainy days and extreme daily precipitation have been increasing in Espírito Santo state, mainly at south region. Additionally, increases in CDD predominate in the state, indicating a prolongation of the dry season, and therefore poor distribution of rainfall throughout the year.

ÍNDICE TEMÁTICO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA E DADOS	5
2.1 Dados de Precipitação da Agência Nacional de Águas.....	5
2.2 Dados Climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia.....	9
2.3 Dados da Reanálise CFSR.....	10
2.4 Testes Estatísticos.....	11
2.5 Indicadores de Extremos de Precipitação	11
3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.....	14
3.1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS.....	14
3.2 CLIMATOLOGIA.....	14
3.3 SISTEMAS METEOROLÓGICOS QUE ATUAM NA REGIÃO.....	25
4. CLIMATOLOGIA E TENDÊNCIAS DOS INDICADORES DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	27
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1:</i>	Mapas do Estado do Espírito Santo: a) topografia (m) do estado e localização dos postos pluviométricos da ANA listados na Tabela 2.1 e b) mesorregiões do estado e localização das estações meteorológicas do INMET utilizadas neste trabalho, listadas na Tabela 2.2.	6
<i>Figura 3.1:</i>	Climatologia sazonal de pressão atmosférica (hPa), considerando o período de 1981-2010, para todo o estado do Espírito Santo e o oceano adjacente (Atlântico): (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.	15
<i>Figura 3.2:</i>	Climatologia sazonal de magnitude (m/s) e direção do vento à 10 metros, considerando o período de 1981-2010, para todo o estado do Espírito Santo e o oceano adjacente (Atlântico): (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.	17
<i>Figura 3.3:</i>	Climatologia para o período de 1961 a 2013 sobre o estado do Espírito Santo das temperaturas (°C): a) máxima, b) média e c) mínima. Fonte: INCAPER.	18
<i>Figura 3.4:</i>	Ciclo anual climatológico (1961-1990) das temperaturas (°C) máxima (Tmax), média compensada (Tmed) e mínima (Tmin) do ar para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.	19
<i>Figura 3.5:</i>	Ciclo anual climatológico (1961-1990) da umidade relativa do ar (%) para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.	20
<i>Figura 3.6:</i>	Ciclo anual climatológico (1961-1990) da precipitação (mm) e evaporação (mm) para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.	21
<i>Figura 3.7:</i>	Ciclo anual climatológico (1961-1990) da velocidade do vento (m/s) para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.	22
<i>Figura 3.8:</i>	Precipitação (mm/mês) média sazonal para o período 1971-2010: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno, e (d) Primavera.	23
<i>Figura 3.9:</i>	Imagens de satélite no canal IR para os casos: a) ZCAS (02/01/2012 - 2100 UTC), b) ciclone extratropical associado a um sistema frontal (11/12/2011 - 1200 UTC) e c) ciclone de mesoescala (12/12/2006 - 1500 UTC).	26
<i>Figura 4.1:</i>	Linha superior: Campos médios para o período 1971-2010 dos indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm), R95p (mm), RX5day (mm), R30mm (dias) e CDD (dias). Linha inferior: Campos de tendências dos	28

indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm/ano), R95p (mm/ano), RX5day (mm/ano), R30mm (dias/ano) e CDD (dias/ano). Os postos pluviométricos marcados com círculo vermelho na linha inferior indicam séries com tendências estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança.

Figura 4.2: Séries temporais dos indicadores: (a) PRCPTOT (mm), (b) R95p (mm), (c) R30mm (dia), (d) RX5day (mm) e (e) CDD (dias) para o posto pluviométrico Vitória no período 1925 a 2013.

35

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2.1:</i>	Localização dos postos pluviométricos da ANA, período de dados disponíveis para o trabalho e número de anos ausentes.	6
<i>Tabela 2.2:</i>	Informações sobre as estações meteorológicas do INMET utilizadas no trabalho.	10
<i>Tabela 2.3:</i>	Indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho.	11
<i>Tabela 4.1:</i>	Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de cada indicador de extremo climático de precipitação para cada posto pluviométrico analisado. Os postos em lilás, azul, verde e cinza pertencem às mesorregiões Litoral Norte, Noroeste, Central e Sul, respectivamente.	31
<i>Tabela A.1:</i>	Valores climatológicos (1971-2010) de cada indicador de extremo de precipitação para cada posto pluviométrico utilizado.	45

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

AR5 – Fifth Assesment Report

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CFSR – Climate Forecast System Reanalysis

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ES – Espírito Santo

ETCCDMI – Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices

HBV – Horário Brasileiro de Verão

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

IPCC – Intergovernmental Painel on Climate Change

NCDC – National Climatic Data Center

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar

RSRJ – Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro

RSSC – Região Serrana do Estado de Santa Catarina

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação (*Fifth Assessment Report – AR5*) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), a temperatura do ar medida globalmente, sofreu um aumento de 0,89°C no período 1901-2012. Cada uma das três décadas passadas (1981-1990, 1991-2000 e 2001-2010) tem sido sucessivamente mais quentes na superfície terrestre, em relação às décadas anteriores. Ademais, os dias quentes e noites quentes estão se elevando significativamente, em contraste com dias frios e noites frias, que estão sofrendo redução (IPCC, 2013).

Um dos mais importantes impactos do aquecimento global sobre a sociedade é o aumento na frequência de ocorrência de eventos de chuvas intensas (MULLER *et al.*, 2011). Tal elevação está associado a uma taxa maior de vapor d'água numa atmosfera mais aquecida (TRENBERTH, 1999 e PALL *et al.*, 2007). Mudanças na intensidade da precipitação diária podem afetar a frequência das enchentes, o desenvolvimento das culturas agrícolas, os recursos hídricos e outros sistemas humanos e naturais sensíveis à água. Portanto, a investigação de como a intensidade da precipitação está sendo modificada no clima presente é relevante para o entendimento de seu comportamento futuro.

De acordo com Allen e Ingram (2002), Held e Soden (2006) e O'Gorman e Schneider (2008), a precipitação média global parece ser limitada energeticamente e aumenta a uma modesta taxa de aproximadamente 2%/K. Contudo, eventos de precipitação extrema não são limitados pelo balanço energético global e poderiam se tornar mais frequentes a uma taxa maior sob cenários de aquecimento global.

Durante décadas, a maior parte das análises de detecção de mudanças climáticas globais utilizando dados observacionais se baseava em mudanças nos valores médios de precipitação e temperatura do ar (ALEXANDER *et al.*, 2006). Contudo, nem sempre um aumento na média está relacionado com um aumento dos extremos. As mudanças nos extremos de precipitação como, por exemplo, aumento na frequência de chuvas intensas ou de secas severas, aumento na quantidade de precipitação durante eventos de chuvas intensas, têm um impacto muito maior na sociedade e ecossistemas em geral do que um aumento nos valores médios (KARL *et al.*, 1997; EASTERLING *et al.*, 2000; MEEHL *et al.*, 2000 e FRICH *et al.*, 2002).

Estudos envolvendo indicadores de extremos de precipitação na América do Sul revelam tendências de aumento de tais indicadores, principalmente sobre a Região Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e na região norte e central da Argentina (ALEXANDER *et al.*, 2006; HAYLOCK *et al.*, 2006; MARENGO *et al.*, 2010; RUSTICUCCI *et al.*, 2010 e SKANSI *et al.*, 2013). Em contrapartida, foi identificada redução na precipitação no sul do Peru e no sul do Chile (HAYLOCK *et al.*, 2006 e SKANSI *et al.*, 2013).

Em várias regiões do Brasil, a maior parte dos resultados de estudos envolvendo tendências de indicadores de extremos de precipitação indicam que o clima está se tornando mais úmido no decorrer das últimas décadas (MARENGO e CAMARGO, 2007; MARENGO e VALVERDE, 2007; OBREGÓN e MARENGO, 2007; BARROS *et al.*, 2008; DUFEK e AMBRIZZI, 2008; MARENGO *et al.*, 2010; NOBRE *et al.*, 2010; SANTOS, 2010; DEREZYNSKI *et al.*, 2013; PINHEIRO *et al.*, 2013; LUIZ SILVA e DEREZYNSKI, 2014; LUIZ SILVA *et al.*, 2015; ÁVILA *et al.*, 2016 e ZILLI *et al.*, 2016).

Obregón e Marengo (2007) mostram tendências estatisticamente significativas de redução no total pluviométrico anual (PRCPTOT) apenas no Município de Nova Friburgo (RJ), em 2 estações no oeste de Minas Gerais e em 2 estações no oeste do Amazonas. Por outro lado, os pesquisadores verificaram tendências positivas estatisticamente significativas em várias estações na Região Sul do Brasil, em Cuiabá e no Estado de São Paulo. Também para o Estado de São Paulo, Dufek e Ambrizzi (2008) sugerem que esteja ocorrendo um aumento na intensidade da precipitação, com um significativo aumento em PRCPTOT em mais de 45% dos postos pluviométricos analisados.

Na cidade de São Paulo, Nobre *et al.* (2010) mostram que para a estação do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, as chuvas intensas têm se tornado mais frequentes. Totais pluviométricos diários superiores a 50 mm, que ocorriam com frequência média de 9 vezes a cada 10 anos na década de 1930, passaram a ocorrer com frequência de 40 vezes na década de 2000.

Para o Estado do Rio de Janeiro, Luiz Silva e Dereczynski (2014) mostram uma tendência estatisticamente significativa de aumento de PRCPTOT nas Baixadas Litorâneas. Os autores também verificaram uma elevação significativa dos totais pluviométricos associado às chuvas intensas (R95p) nas Baixadas Litorâneas e em parte da região Metropolitana. Na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (RSRJ), Ávila *et al.* (2016) mostram aumento em PRCPTOT, com tendências positivas em 60% das estações. De acordo com esses autores, na RSRJ as chuvas

estão ocorrendo de forma concentrada, e especialmente na RSRJ com redução do número de dias úmidos consecutivos (CWD). Na cidade do Rio de Janeiro, Dereczynski *et al.* (2013) mostram um aumento estatisticamente significativo na quantidade de precipitação associada às chuvas intensas na estação do Alto da Boa Vista, localizada em região florestada.

De acordo com Luiz Silva *et al.* (2015), no norte do Estado do Paraná observam-se condições mais secas. Nas estações Cambará, Ibiporã e Umuarama verifica-se uma redução estatisticamente significativa de R95p (-5 mm/ano) e, também, foi notado em Ibiporã redução (-0,14 dia/ano) no número de dias no ano em que a chuva diária é superior a 30 mm (R30mm). No sudoeste do PR, nas estações Pato Branco e Planalto o número de dias secos consecutivos no ano (CDD) está sofrendo um aumento de +0,25 dia/ano. Por outro lado, no litoral, na estação Morretes ocorre um aumento de R30mm de +0,15 dia/ano.

Resultados sobre tendências de precipitação para a Região Serrana do Estado de Santa Catarina (RSSC) podem ser encontrados em Ávila *et al.* (2016). Os autores mostram aumento de PRCPTOT para 90% das estações. Assim como para a RSRJ os pesquisadores afirmam que chuvas estão ocorrendo de forma mais concentrada nessas áreas.

Para o Estado do Espírito Santo (ES), região de interesse deste trabalho, resultados interessantes são encontrados em Zilli *et al.* (2016). Os autores investigam tendências nos extremos de precipitação para o período chuvoso da Região Sudeste do Brasil (outubro a março) a partir de diversos indicadores, utilizando séries de dados observacionais e também dados de chuva em pontos de grade gerados por Liebmann e Allured (2005). No ES, foram utilizadas apenas três estações localizadas no sul do estado: Guaçuí, Castelo e Mimoso do Sul. Seus resultados mostram que em Guaçuí e Castelo estão ocorrendo elevações estatisticamente significativas na precipitação total, na precipitação média diária, no valor do percentil 95 da precipitação diária, no número de eventos com precipitação diária acima do percentil 95 e na precipitação excedente acima do percentil 95. Em Mimoso do Sul, as tendências também são positivas, contudo não estatisticamente significativas. Os pesquisadores sugerem que esteja ocorrendo um deslocamento para sul da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e com isso a precipitação mais intensa está se tornando mais concentrada em certas áreas da Região Sudeste do Brasil.

A economia capixaba é baseada na agropecuária, indústria e serviços, sendo que a agricultura é bastante diversificada, com culturas de origens tropical, subtropical e temperada (Feitoza *et al.*, 1979). Os portos de Tubarão e Vitória movimentam toda a parte de comércio

marítimo do estado, sendo que o porto de Vitória possui um dos maiores fluxos do Brasil. Possíveis mudanças climáticas poderiam afetar todo o sistema econômico do estado, causando danos à agricultura, ao sistema portuário, e até mesmo à sociedade em si.

Nesse contexto, o presente estudo tem como motivação apoiar medidas de mitigação e de adaptação às consequências possivelmente danosas nos âmbitos socioeconômico e de vulnerabilidade que as mudanças climáticas podem acarretar ao estado do Espírito Santo. Assim, o objetivo deste trabalho é detectar as possíveis mudanças nos indicadores de extremos de precipitação através de séries de dados observacionais.

No Capítulo 2 são apresentados a metodologia e os dados utilizados no trabalho. No Capítulo 3 elabora-se uma caracterização climática do Estado do Espírito Santo. Os resultados baseados nos indicadores de extremos de precipitação são apresentados no Capítulo 4. Finalmente no Capítulo 5, encontram-se as conclusões e considerações finais.

2. METODOLOGIA E DADOS

Neste capítulo são apresentados os dados de precipitação da Agência Nacional de Águas (ANA) e a metodologia utilizada para o tratamento desses dados. Além disso apresentam-se os dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os indicadores de extremos de precipitação e os testes de significância estatística utilizados neste trabalho. Ademais, apresentam-se os dados climatológicos do *Climate Forecast System Reanalysis* pertencente ao *National Center for Environmental Prediction* (CFSR/NCEP, Saha *et al.*, 2010), utilizados neste trabalho.

2.1 Dados de Precipitação da Agência Nacional de Águas

Para a composição da climatologia dos indicadores de extremos de precipitação e análise da chuva sazonal foram utilizados dados observacionais diários de chuva de 80 postos pluviométricos (Figura 2.1a) provenientes do Sistema de Informações Hidrológicas (<http://hidroweb.ana.gov.br>) da ANA. Os 80 postos estão distribuídos nas 4 mesorregiões do ES (Figura 2.1b) da seguinte forma: 15 no Litoral Norte, 21 no Noroeste, 28 no Central e 16 no Sul. Os totais pluviométricos diários da ANA são acumulados entre 7 h (1000 UTC) do dia anterior até 7 h (1000 UTC) do dia em questão e considera-se o Horário Brasileiro de Verão (HBV). Ou seja, durante o período do ano em que se utiliza oficialmente o HBV, a observação passa a ser feita às 0900 UTC.

Para gerar as climatologias dos indicadores de extremos de precipitação e para análise da chuva sazonal foi utilizado o período de 1971 a 2010 (40 anos) e para o cálculo das tendências dos indicadores utilizou-se o período total de dados disponível de cada posto pluviométrico, como apresentado na Tabela 2.1. Os totais pluviométricos sazonais foram calculados considerando-se as estações do verão (dezembro-janeiro-fevereiro), outono (março-abril-maio), inverno (junho-julho-agosto) e primavera (setembro-outubro-novembro), assim como para outras climatologias sazonais. As informações referentes a cada posto pluviométrico, incluindo latitude, longitude, altitude e período total das séries de precipitação diária estão apresentados na Tabela 2.1. De forma a manter uma uniformidade entre os resultados, foram excluídos das séries de dados os anos com mais de 25% de falhas nas séries diárias. O número de anos ausentes também é apresentado na Tabela 2.1.

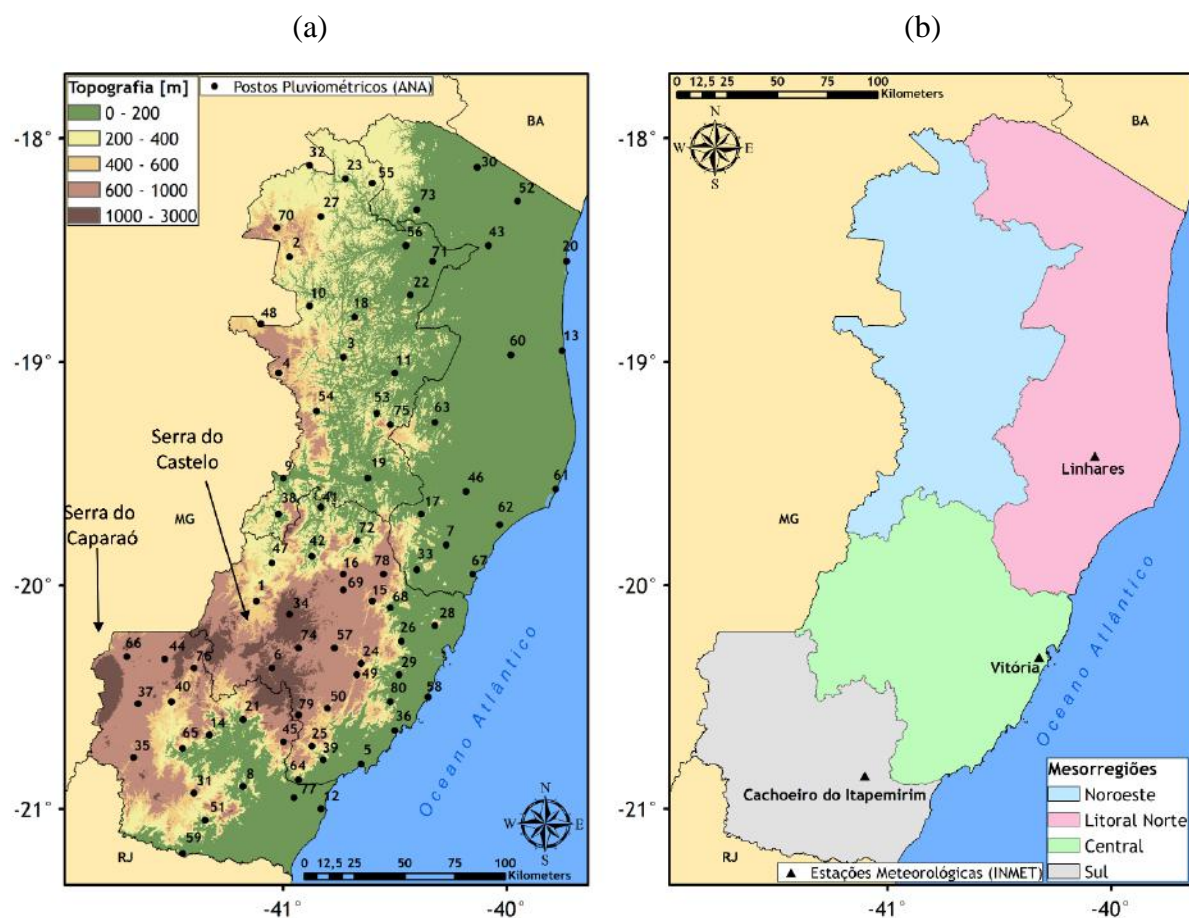


Figura 2.1 – Mapas do Estado do Espírito Santo: a) topografia (m) do estado e localização dos postos pluviométricos da ANA listados na Tabela 2.1 e b) mesorregiões do estado e localização das estações meteorológicas do INMET utilizadas neste trabalho, listadas na Tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Localização dos postos pluviométricos da ANA, período de dados disponíveis para o trabalho e número de anos ausentes.

Num	Posto Pluviométrico	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período	Anos Ausentes
1	Afonso Cláudio	-20,07	-41,12	300	1967 - 2013	4
2	Água Doce	-18,53	-40,97	280	1959 - 2013	6
3	Águia Branca	-18,98	-40,73	180	1969 - 2013	1
4	Alto Rio Novo	-19,05	-41,02	500	1970 - 2013	1
5	Anchieta	-20,80	-40,65	6	1948 - 2013	5

6	Arace	-20,37	-41,05	1075	1963 - 2013	2
7	Aracruz	-19,82	-40,27	58	1970 - 2013	5
8	Atílio Vivacqua	-20,90	-41,18	76	1944 - 2013	5
9	Baixo Guandu	-19,52	-41,00	70	1941 - 2013	3
10	Barra de São Francisco	-18,75	-40,88	192	1947 - 2013	3
11	Barra de São Gabriel	-19,05	-40,50	70	1968 - 2013	2
12	Barra do Itapemirim	-21,00	-40,83	4	1947 - 2013	3
13	Barra Nova	-18,95	-39,75	6	1971 - 2013	4
14	Burarama	-20,67	-41,33	180	1964 - 2013	2
15	Cachoeira Suíça	-20,07	-40,60	600	1959 - 2013	2
16	Caldeirão	-19,95	-40,73	750	1970 - 2013	4
17	Cavalinho	-19,68	-40,38	50	1948 - 2013	3
18	Cedrolândia	-18,80	-40,68	300	1970 - 2013	2
19	Colatina - Corpo de Bombeiros	-19,52	-40,62	40	1967 - 2013	2
20	Conceição da Barra	-18,55	-39,73	3	1930 - 2013	3
21	Conceição do Castelo	-20,60	-41,18	600	1939 - 2012	3
22	Córrego da Boa Esperança	-18,70	-40,43	80	1976 - 2012	4
23	Cotaxe	-18,18	-40,72	200	1970 - 2010	1
24	Domingos Martins	-20,35	-40,65	452	1947 - 1999	5
25	Duas Barras	-20,72	-40,87	420	1957 - 2013	0
26	Duas Bocas	-20,25	-40,47	200	1952 - 2013	8
27	Ecoporanga	-18,35	-40,83	300	1970 - 2013	2
28	Fazenda Fonte Limpa	-20,18	-40,32	70	1947 - 2013	8
29	Fazenda Jucuruaba	-20,40	-40,48	80	1951 - 2013	3
30	Fazenda Limoeiro	-18,13	-40,13	96	1970 - 2013	2
31	Fazenda Monte Alegre	-20,93	-41,40	450	1952 - 2013	5
32	Fazenda São Mateus	-18,12	-40,88	190	1966 - 2013	12
33	Fundão	-19,93	-40,40	50	1948 - 2013	2
34	Garrafão	-20,13	-40,97	940	1947 - 2013	4
35	Guaçuí	-20,77	-41,67	576	1939 - 2013	5
36	Guarapari	-20,65	-40,50	6	1947 - 2012	7
37	Ibitirama	-20,53	-41,65	794	1954 - 2013	4
38	Ibituba	-19,68	-41,02	160	1967 - 2013	1

39	Iconha - Montante	-20,78	-40,82	25	1947 - 2013	3
40	Itaici	-20,52	-41,50	380	1961 - 2013	2
41	Itaimbé	-19,65	-40,83	70	1957 - 2013	2
42	Itarana	-19,87	-40,87	165	1947 - 2013	5
43	Itauninhas	-18,48	-40,08	90	1947 - 2013	10
44	Iúna	-20,33	-41,53	615	1954 - 2013	2
45	Jacigua	-20,70	-41,00	580	1947 - 2013	6
46	Jacupemba	-19,58	-40,18	50	1970 - 2013	0
47	Laranja da Terra	-19,90	-41,05	250	1947 - 2013	3
48	Mantenópolis	-18,83	-41,10	900	1970 - 2013	1
49	Marechal Floriano	-20,40	-40,67	544	1949 - 2013	2
50	Matilde	-20,55	-40,80	515	1949 - 2013	2
51	Mimoso do Sul	-21,05	-41,35	67	1964 - 2013	4
52	Morro D'anta	-18,28	-39,95	66	1951 - 2013	12
53	Novo Brasil	-19,23	-40,58	170	1969 - 2013	0
54	Pancas	-19,22	-40,85	135	1957 - 2013	2
55	Patrimônio Santa Luzia do Norte	-18,20	-40,60	400	1970 - 2013	2
56	Patrimônio XV	-18,48	-40,45	96	1970 - 2013	5
57	Perobinha	-20,28	-40,77	640	1971 - 2013	2
58	Ponta da Fruta	-20,50	-40,35	3	1970 - 2013	3
59	Ponte do Itabapoana	-21,20	-41,45	59	1937 - 2013	3
60	Ponte Nova	-18,97	-39,98	60	1972 - 2013	2
61	Povoação	-19,57	-39,78	3	1974 - 2013	2
62	Riacho	-19,73	-40,03	5	1947 - 2013	4
63	Rio Bananal	-19,27	-40,32	95	1970 - 2013	2
64	Rio Novo do Sul	-20,87	-40,93	80	1969 - 2010	4
65	Rive	-20,73	-41,45	127	1939 - 2013	2
66	Santa Cruz - Caparaó	-20,32	-41,70	920	1956 - 2013	3
67	Santa Cruz - Litoral	-19,95	-40,15	5	1947 - 2013	5
68	Santa Leopoldina	-20,10	-40,52	160	1949 - 2013	5
69	Santa Maria do Jetibá	-20,02	-40,73	710	1947 - 2013	3
70	Santo Agostinho	-18,40	-41,03	500	1970 - 2013	1
71	São João da Cachoeira Grande	-18,55	-40,33	100	1981 - 2013	3

72	São João de Petrópolis	-19,80	-40,67	149	1947 - 2013	3
73	São João do Sobrado	-18,32	-40,40	100	1970 - 2013	5
74	São Rafael	-20,28	-40,93	100	1970 - 2013	1
75	Serraria	-19,28	-40,52	250	1970 - 2010	1
76	Usina Fortaleza	-20,37	-41,40	580	1956 - 2013	3
77	Usina Paineiras	-20,95	-40,95	40	1947 - 2013	3
78	Valsugana Velha - Montante	-19,95	-40,55	180	1956 - 2013	2
79	Vila Nova Maravilha	-20,58	-40,93	980	1964 - 2013	2
80	Vitória	-20,52	-40,52	36	1925 - 2013	14

Após excluídos os anos com mais de 25% de falhas nas séries de totais pluviométricos diários de cada um dos 80 postos apresentados na Tabela 2.1, foram investigados possíveis dados espúrios. Inicialmente procurou-se por valores de chuva diária inferior a 0 mm para serem retirados da série. Ademais, todos os valores superiores a 100 mm/dia foram verificados manualmente. Nos casos em que a chuva diária ultrapassou 100 mm e não ocorreu chuva nos dias anterior e posterior e também não ocorreu precipitação em nenhum outro posto próximo, o valor era excluído da série de dados. Após essa etapa de tratamento dos dados, a série mais curta (São João da Cachoeira Grande) que se estendia de 1981 a 2013 (33 anos) ficou reduzida a 30 anos de dados, após serem excluídos os anos de 1981, 1987 e 1989, e além disso, 4 dados de chuva diária foram descartados da série por serem considerados espúrios. Por outro lado, a série mais longa (Vitória), que se estendia de 1925 a 2013 (89 anos), ficou reduzida a 75 anos, após a exclusão dos anos 1959 a 1969, 1991, 2001 e 2002 e além disso, 39 dados de chuva diária estavam ausentes ou foram excluídos por serem considerados espúrios.

2.2 Dados Climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia

Os dados climatológicos de temperaturas máxima, média compensada e mínima do ar, precipitação e evaporação, velocidade do vento e umidade relativa do ar, considerando o período de 1961 a 1990, foram obtidos das normais climatológicas do INMET (INMET, 2009) para três estações meteorológicas no estado do Espírito Santo: Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim (Figura 2.1b e Tabela 2.2). Tais estações foram selecionadas por serem as únicas com climatologias disponíveis para as sete variáveis listadas anteriormente em INMET (2009).

Tabela 2.2 – Informações sobre as estações meteorológicas do INMET utilizadas no trabalho. Fonte: INMET (2009).

Posto Pluviométrico	Mesorregião	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Linhares	Litoral Norte	-19,42	-40,07	29
Vitória	Central	-20,32	-40,32	36
Cachoeiro do Itapemirim	Sul	-20,85	-41,10	77

A temperatura média compensada é calculada em INMET (2009) a partir da equação 2.1:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min} + T_{12UTC} + 2T_{00UTC}}{5} \quad (2.1)$$

As variáveis acima (T_{max} , T_{min} , T_{12UTC} e T_{00UTC}) são definidas, respectivamente como: temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, temperatura do ar medida no horário de 12 UTC e temperatura do ar medida no horário de 00 UTC.

2.3 Dados da Reanálise CFSR

Para a análise da climatologia sazonal de outras variáveis além da precipitação foram utilizados conjuntos de dados do CFSR/NCEP, disponíveis em <https://rda.ucar.edu/datasets/ds093.2/>. As variáveis do CFSR utilizados neste trabalho possuem resolução horizontal de aproximadamente 0,5°, sendo utilizado o período de 1981-2010 para cálculo da climatologia. Os campos meteorológicos utilizados foram: Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar (PNMM) e componentes zonal e meridional do vento a 10 metros de altura.

2.4 Indicadores de Extremos de Precipitação

Os indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho são listados na Tabela 2.3. Tais indicadores foram calculados através do software RClindex desenvolvido por Zhang e Yang (2004). O RClindex é mantido pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indexes* (ETCCDI; <http://etccdi.pacificclimate.org/>).

Tabela 2.3 – Indicadores de extremos de precipitação utilizados neste trabalho.

Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos (dias nos quais $PRCP \geq 1\text{mm/dia}$)	mm/ano
R95p	Precipitação anual total dos dias em que $PRCP >$ percentil 95. O percentil 95 é calculado considerando-se apenas os dias úmidos	mm/ano
RX5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos	mm/5dias
R30mm	Número de dias no ano com $PRCP \geq 30\text{ mm/dia}$	dias
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos no ano ($PRCP < 1\text{ mm}$)	dias

PRCP = precipitação diária

2.5 Testes Estatísticos

Para cada uma das séries de valores dos indicadores de extremos de precipitação aplica-se o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945 e KENDALL, 1975), com objetivo de investigar a existência ou não de tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução na série de dados. Adicionalmente, o Estimador Sen (SEN, 1968) é aplicado para estimar a magnitude dessa tendência linear. Ambos os testes são detalhadamente apresentados em Zilli *et al.* (2016) e reproduzidos a seguir.

A estatística S de Mann-Kendall, método mais apropriado para analisar a significância de possíveis mudanças climáticas em séries climatológicas (GOOSSENS e BERGER, 1986), é calculada da seguinte forma:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_i) \quad (2.2)$$

Onde n é o número total de dados na série; x é cada um dos valores do indicador a cada passo de tempo distinto i e j , com $i \neq j$; e “sinal” é definido como:

$$\text{ sinal} = \begin{cases} 1, \text{ se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0, \text{ se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1, \text{ se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

O teste de Mann-Kendall testa a hipótese nula de não haver tendência na série contra a hipótese alternativa de presença de uma tendência. Valores positivos de S indicam uma tendência de aumento e valores negativos de S indicam uma tendência de redução. Se $n > 10$, a estatística S segue uma distribuição Gaussiana com média nula e variância (Var) dada por:

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (2.4)$$

Onde m é o número de grupos de valores repetidos (diferença nula entre os valores comparados) e t_i é o número de dados em cada grupo repetido. A significância dessa tendência pode ser encontrada usando o z score, estimado como:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, \text{ se } S > 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, \text{ se } S < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Se $|z| > z_{\alpha/2}$, a hipótese nula pode ser rejeitada ao nível de significância α num teste bilateral, o que significa que há tendência estatisticamente significativa na série de dados.

O teste de estimativa de inclinação de Sen, que considera a inclinação entre todos os pares em séries temporais é dado por:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ para } i = 1, 2, \dots, N \quad (2.6)$$

Onde N é o número de pares distintos de observações, de forma que

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.7)$$

x_j e x_k são valores dos dados nos tempos j e k , respectivamente, com $j > k$. O estimador inclinação é computado considerando o valor da mediana de todos os $Q_{(i)}$ ranqueados:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[(N+1)/2]}, & \text{se } N \text{ é ímpar} \\ \frac{Q_{(N/2)} + Q_{[(N+2)/2]}}{2}, & \text{se } N \text{ é par} \end{cases} \quad (2.8)$$

Onde Q_{med} representa a inclinação da tendência, com valores positivos representando tendências positivas e valores negativos representando tendências negativas. O intervalo de confiança para este teste é estimado por:

$$C_{\alpha=Z_{1-\alpha/2}\sqrt{Var[S]}} \quad (2.9)$$

Onde $Var[S]$ é estimado pela equação 2.4, e $Z_{1-\alpha/2}$ é definida a partir de uma distribuição padrão normal. O intervalo de confiança é:

$$Q_{min} = Q_{(M_1)} \text{ e } Q_{max} = Q_{(M_2+1)} \quad (2.10)$$

$$M_1 = \frac{N-C_\alpha}{2} \text{ e } M_2 = \frac{N+C_\alpha}{2} \quad (2.11)$$

Onde Q_{min} e Q_{max} são os limites inferior e superior do intervalo de confiança. A inclinação Q_{med} é estatisticamente diferente de zero se os dois limites (Q_{min} e Q_{max}) apresentam sinais similares.

3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Neste capítulo são descritas as principais características do Espírito Santo, abordando aspectos da topografia, da climatologia e dos sistemas meteorológicos que atuam no Estado.

3.1 Aspectos Geográficos

O estado do Espírito Santo (Figura 2.1), com área pouco superior a 46 mil quilômetros quadrados (<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=esigla=es>), estende-se aproximadamente entre os paralelos 21°S e 18°S e os meridianos 42°O e 40°O. Apesar da pouca extensão territorial, o ES, apresenta uma variabilidade climática significativa. Isso se deve à presença de suas duas distintas regiões naturais: o litoral que se estende na direção norte-sul por 400 km e o planalto. Ao longo da costa Atlântica encontra-se uma faixa de planície que representa 40% da área total do Estado, e à medida que se penetra em direção ao interior, o planalto dá origem a uma região serrana, com altitudes superiores a 1000 metros, onde se elevam a Serra do Caparaó e a Serra do Castelo. Na Serra do Caparaó encontra-se o Pico da Bandeira, com 2890 metros de altura, o terceiro mais alto do país e o mais alto do Estado (<https://es.gov.br/geografia>). Na Figura 2.1 encontra-se a topografia do ES (Figura 2.1a) e também os limites de suas quatro mesorregiões: Noroeste, Litoral Norte, Central e Sul Espírito Santense (Figura 2.1b). Destaca-se na Figura 2.1a regiões com altitudes superiores a 1000 metros na região de fronteira com Minas Gerais, onde se encontram a Serra do Caparaó e a Serra do Castelo, essa estendendo-se aproximadamente de Cachoeiro do Itapemirim até Colatina.

3.2 Climatologia

O clima no ES sofre influência direta do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), um centro de altas pressões gerado pela circulação geral da atmosfera. Nas regiões sob a influência desse sistema, a forte subsidência e a divergência dos ventos à superfície, inibem os movimentos verticais, dificultando a formação de nuvens e consequentemente a ocorrência de chuvas (Satyamurty *et al.*, 1998). Assim, no ES, o ASAS garante, climatologicamente, condições de estabilidade, com pouca nebulosidade, ventos de quadrantes norte e leste e

temperaturas amenas. Nas Figuras 3.1 e 3.2 apresentam-se respectivamente as climatologias sazonais da pressão atmosférica ao nível médio do mar e do vento obtidos da Reanálise CFSR.

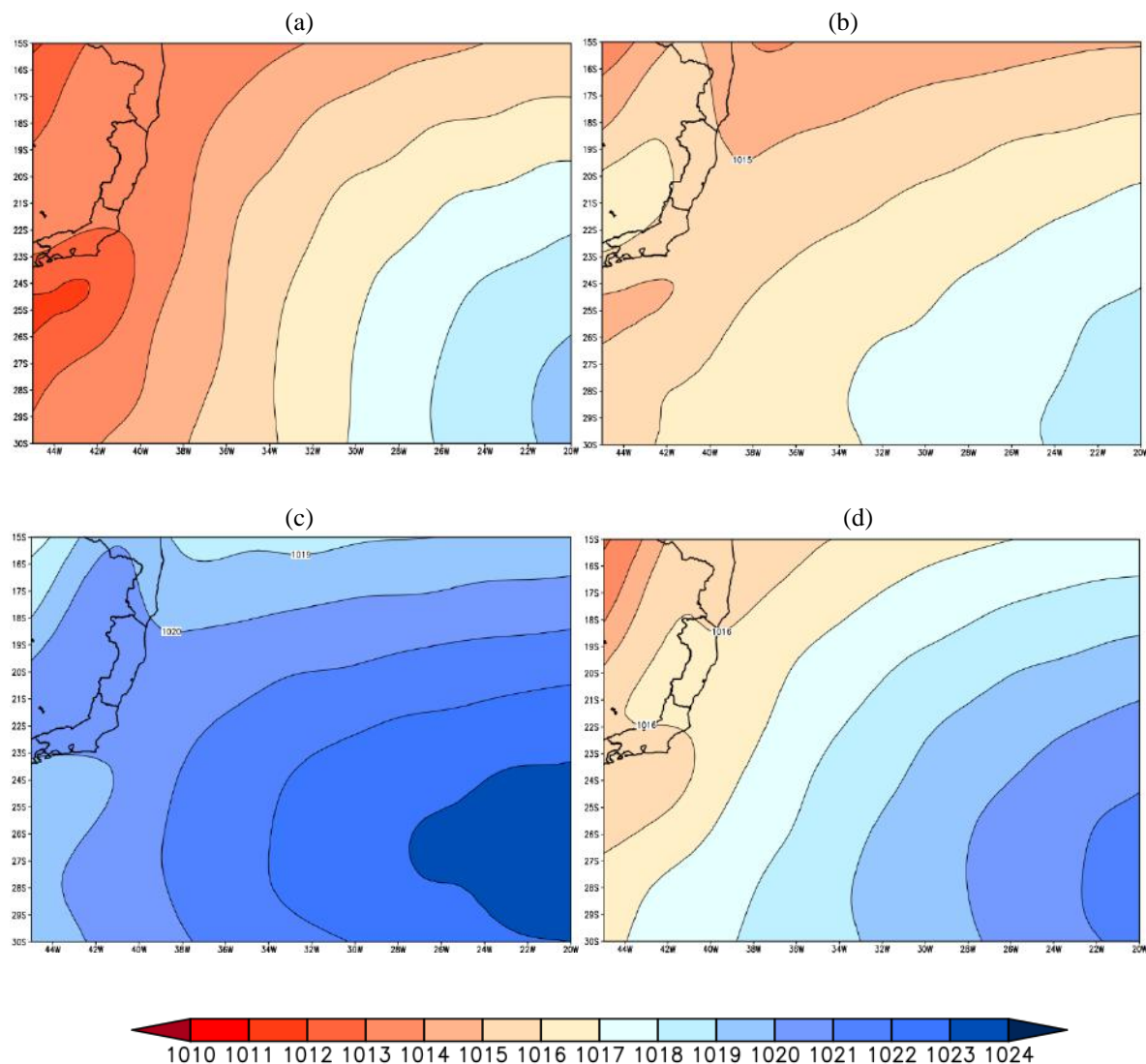


Figura 3.1 – Climatologia sazonal de pressão atmosférica (hPa), considerando o período de 1981-2010, para todo o estado do Espírito Santo e o oceano adjacente (Atlântico): (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.

Nota-se na Figura 3.1a menores valores de PNMM sobre o estado do ES, entre 1013 e 1014 hPa, quando o centro do ASAS encontra-se em sua posição mais austral e mais afastada do continente. Apesar dos baixos valores de PNMM em toda a área no verão, observa-se que o gradiente horizontal de pressão é mais intenso do que nas demais estações do ano. No outono (Figura 3.1b) o ASAS começa a se deslocar em direção ao continente e a pressão atmosférica

no ES se eleva, oscilando entre 1015 e 1016 hPa, apesar dos fracos gradientes de PNMM. Ainda no outono, observa-se a presença de um centro de alta pressão de 1016 hPa a oeste do ES, a aproximadamente 21°S/44°O. No inverno (Figura 3.1c), o centro do ASAS encontra-se em sua posição mais setentrional e para o interior do continente, ocasião em que se observam os maiores valores de PNMM na área de estudo, entre 1020 e 1021 hPa. Na primavera (Figura 3.1d) a pressão volta a cair no ES, oscilando entre 1016 e 1017 hPa, e o gradiente de pressão volta a se elevar, a medida que o centro do ASAS novamente se afasta do continente.

A intensidade e direção dos ventos na área do ES estão diretamente relacionados com a posição e intensidade do ASAS. Como todo o litoral do estado do Espírito Santo é banhado pelo Oceano Atlântico, há influência direta dos ventos sinóticos provenientes do ASAS e, também, principalmente do sistema de brisa terrestre/marítima. Com relação ao vento sinótico, no verão (Figura 3.2a) os ventos atingem máxima intensidade e são provenientes de nordeste. Por outro lado, no outono (Figura 3.2b) apesar do centro do ASAS estar localizado na mesma posição, os gradientes horizontais de pressão são fracos e a intensidade dos ventos, predominantemente de leste, atingem a menor intensidade ao longo do ano. No inverno (Figura 3.2c), o centro do ASAS atinge sua posição mais ao norte e em direção ao continente, com isso as bordas desse sistema adentram o continente e na região do ES a velocidade dos ventos, ainda de quadrante leste, mantém o mesmo padrão em relação ao outono. Finalmente na primavera (Figura 3.2d), quando o centro do ASAS começa a se afastar do continente, a região do litoral do ES volta a localizar-se na borda oeste desse sistema e os ventos tornam a se intensificar e atingem todo seu litoral novamente, sendo provenientes de nordeste.

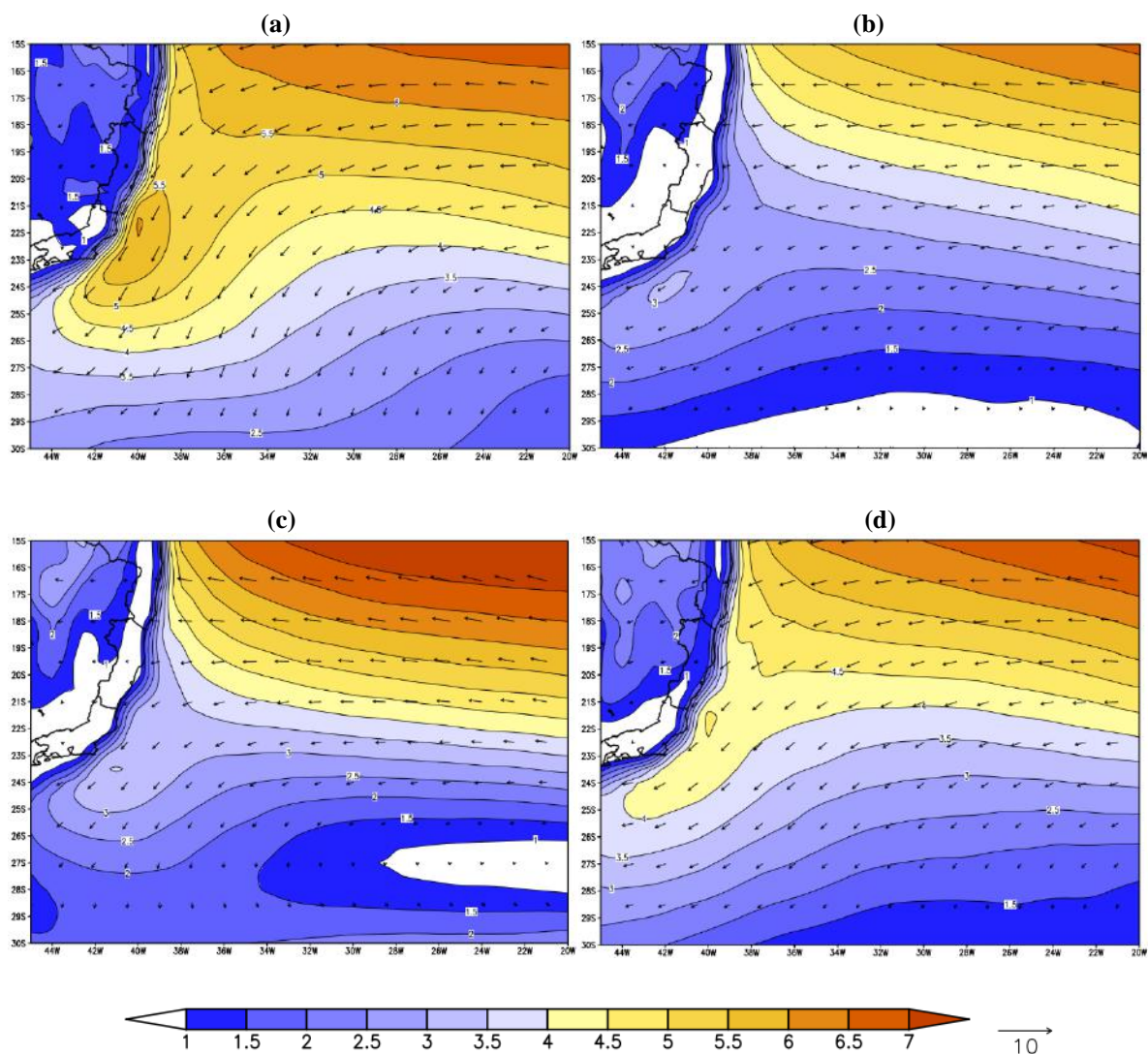


Figura 3.2 - Climatologia sazonal de magnitude (m/s) e direção do vento a 10 metros, considerando o período de 1981-2010, para todo o estado do Espírito Santo e o oceano adjacente (Atlântico): (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera.

Mapas climatológicos (1961-2013) mensais de temperaturas máxima, média e mínima para o ES podem ser consultados no sítio do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER; <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/>) e são exibidos na Figura 3.3. Nos três mapas, como esperado, os valores mínimos ficam concentrados nas regiões serranas e os máximos predominam no noroeste do Estado, confirmando o forte controle latitudinal e da topografia sobre a temperatura. A média anual da temperatura média varia entre 11°C na Serra do Caparaó e 25°C no norte do estado, ou seja, uma amplitude térmica média anual de 14°C no estado.

Na Figura 3.4 encontram-se os ciclos anuais climatológicos (1961-1990) das temperaturas máxima, média compensada e mínima do ar, obtidos nas estações meteorológicas do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.

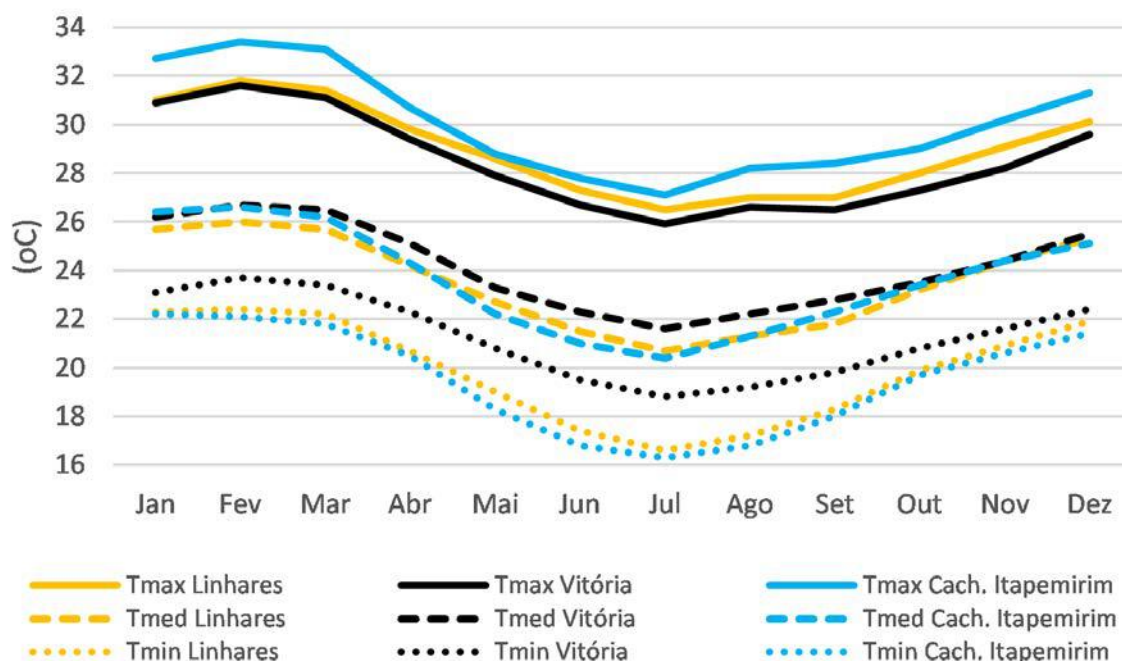


Figura 3.4 - Ciclo anual climatológico (1961-1990) das temperaturas (°C) máxima (Tmax), média compensada (Tmed) e mínima (Tmin) do ar para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.

Observa-se que as temperaturas atingem valores mais elevados no trimestre jan-fev-mar. Com relação ao trimestre mais frio do ano, esse predomina em jun-jul-ago. Destaca-se a baixa amplitude térmica anual na estação Vitória. Isso ocorre devido a regulação térmica promovida pela proximidade do oceano e também devido a sua reduzida altitude (36 m). Nunes *et al.* (2009) comentam que devido à maritimidade, as temperaturas médias do litoral norte paulista são semelhantes às do litoral capixaba, a despeito da diferença latitudinal entre os dois locais. Nota-se ainda que a temperatura mínima em Vitória não atinge valores menores do que 18°C em julho, enquanto a temperatura máxima não ultrapassa 32°C em fevereiro. Por outro lado, a estação Cachoeiro do Itapemirim exhibe as maiores amplitudes térmicas anuais, em relação às outras duas estações meteorológicas, alcançando temperatura mínima de 16°C em julho e temperatura máxima de 33°C em fevereiro. As temperaturas médias nas três estações são bem próximas, em torno de 21°C em julho e 26°C em fevereiro.

As normais climatológicas da umidade relativa do ar são apresentadas na Figura 3.5. Observa-se que, de maneira geral, não há grandes variações nos valores de umidade relativa,

mas os máximos são encontrados entre maio e julho e os mínimos em fevereiro e agosto. A umidade relativa não depende somente da quantidade de umidade presente na atmosfera, mas também é inversamente proporcional à temperatura do ar. Assim, nos meses de inverno (verão), a baixa (alta) quantidade de vapor d'água do ar é compensada pelos valores mais baixos (altos) na temperatura do ar.

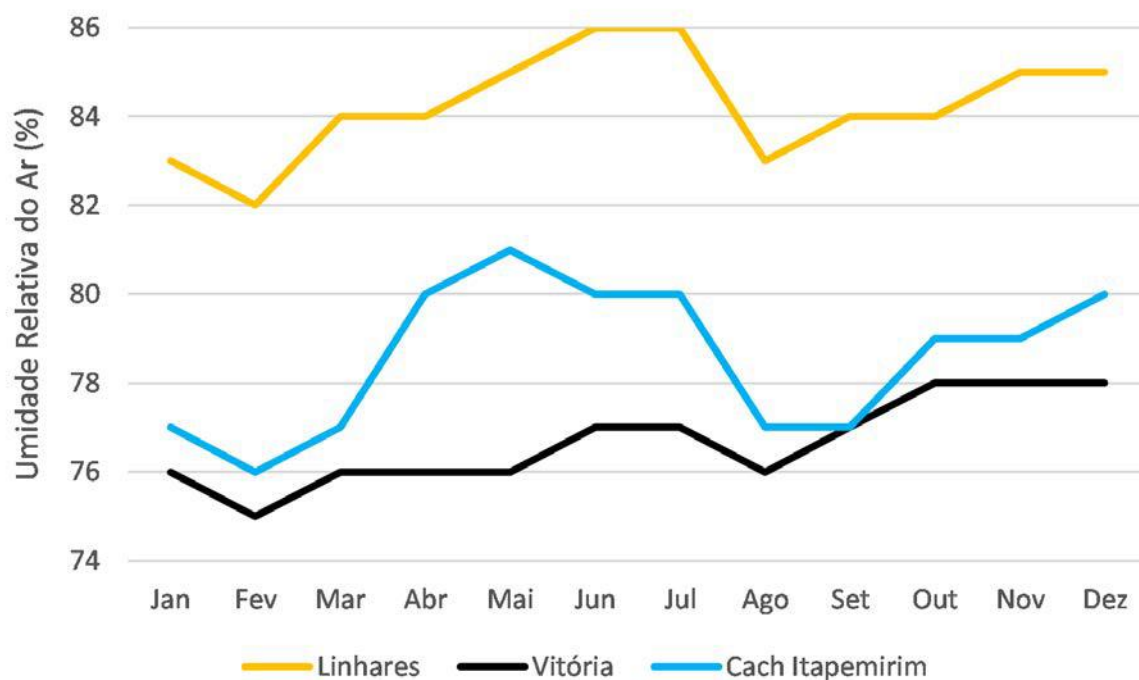


Figura 3.5 - Ciclo anual climatológico (1961-1990) da umidade relativa do ar (%) para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.

As normais climatológicas (1961-1990) da precipitação e evaporação são apresentadas na Figura 3.6.

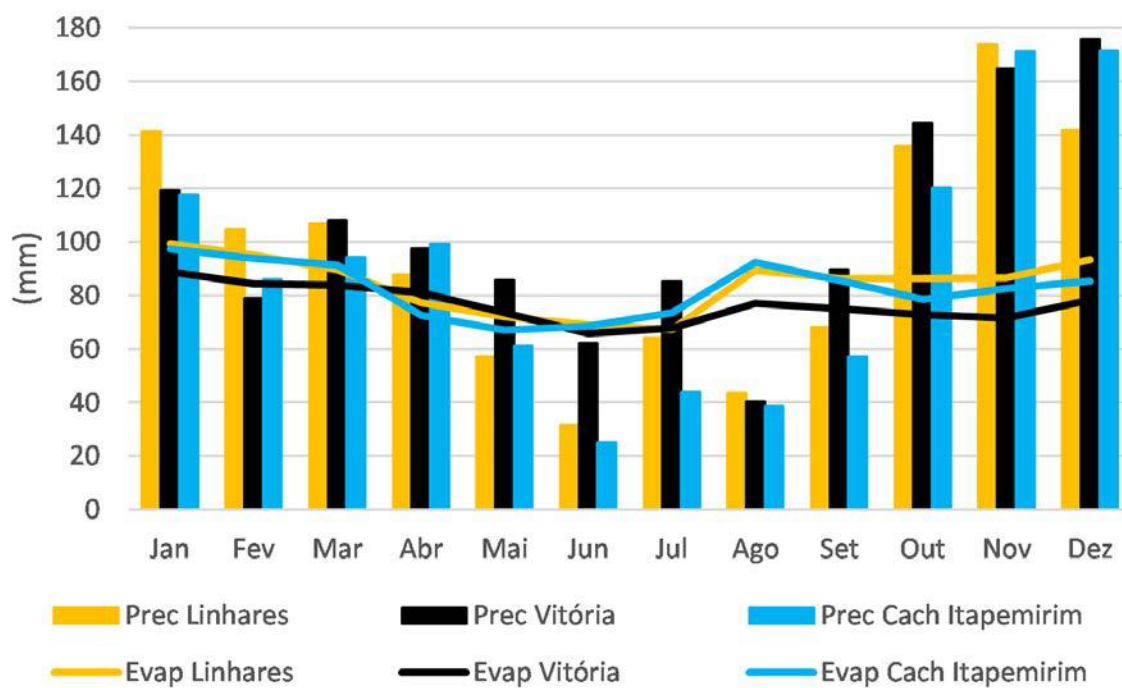


Figura 3.6 - Ciclo anual climatológico (1961-1990) da precipitação (mm), em barras, e evaporação (mm), em linhas, para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.

Verifica-se que os maiores acumulados de chuva nas 3 estações meteorológicas se concentram no trimestre out-nov-dez, enquanto que os mínimos de chuva se dão nos meses de maio, junho e agosto. Verifica-se também que em torno de 70% da precipitação concentra-se no período de outubro a março. Tal padrão de precipitação, exibindo um regime monçônico, é característico da região sudeste do Brasil, verão muito chuvoso e inverno seco. O ciclo anual de evaporação exibe um máximo coincidente com os meses mais quentes do ano (jan-fev-mar) e de maior intensidade do vento (Figura 3.7). Um segundo máximo no ciclo anual da evaporação ocorre em agosto, o que coincide com o início da intensificação do vento à superfície e com um mínimo secundário de umidade relativa do ar (Figura 3.5).

A Figura 3.7 apresenta o ciclo anual da velocidade do vento a 10 metros de altura. Nota-se que os maiores valores ocorrem no trimestre outubro-novembro-dezembro, enquanto os mínimos são observados em maio-junho-julho. Isso se deve a localização e intensidade do ASAS em relação ao ES. No verão, quando o centro do ASAS encontra-se localizado a

aproximadamente 30°S/5°O (Figura não apresentada) e o sistema tem pouca penetração sobre o continente, a região em estudo fica situada na borda oeste desse anticiclone, onde são maiores os gradientes horizontais de pressão. Por outro lado, no inverno o centro do ASAS atinge sua posição mais ao norte e em direção ao continente (28°S/10°O), com isso as bordas desse sistema adentram o continente e na região do ES a velocidade do vento, ainda de quadrante leste, aumenta levemente. Os ventos mais intensos em Vitória, em relação as demais localidades, pode estar relacionada a atuação da brisa marítima, que intensifica a velocidade do vento de escala sinótica proveniente do ASAS.

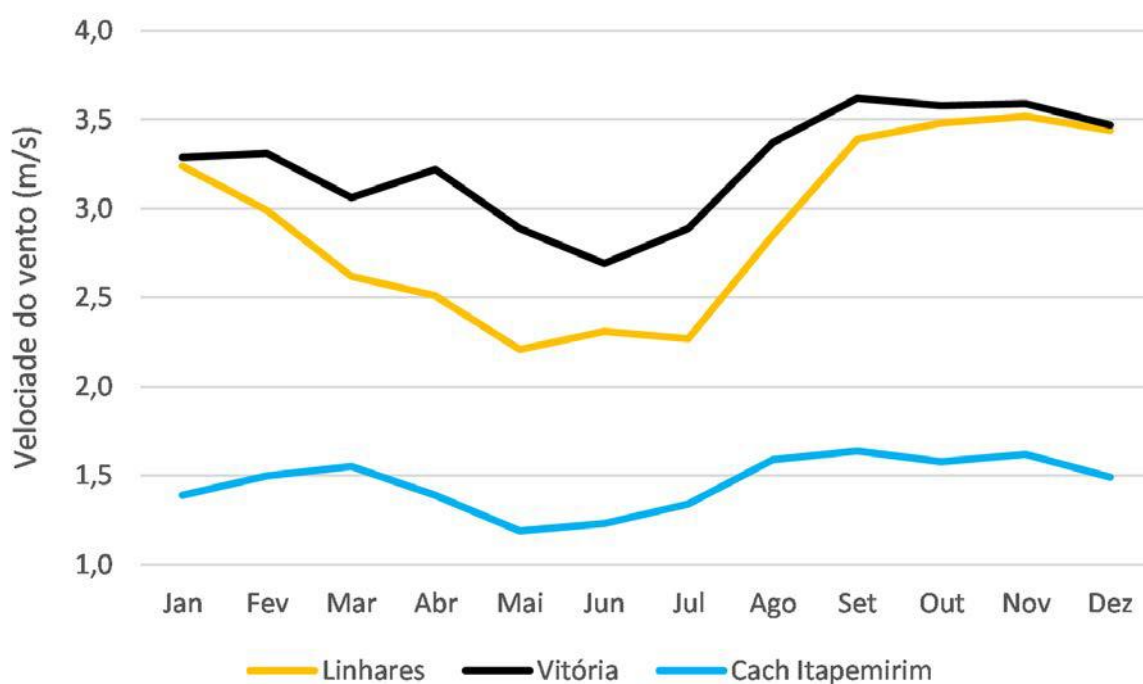


Figura 3.7 - Ciclo anual climatológico (1961-1990) da velocidade do vento (m/s) para as estações do INMET em Linhares, Vitória e Cachoeiro do Itapemirim.

A climatologia sazonal de precipitação, elaborada a partir dos dados da ANA e considerando o período de 1971 a 2010, é apresentada na Figura 3.8.

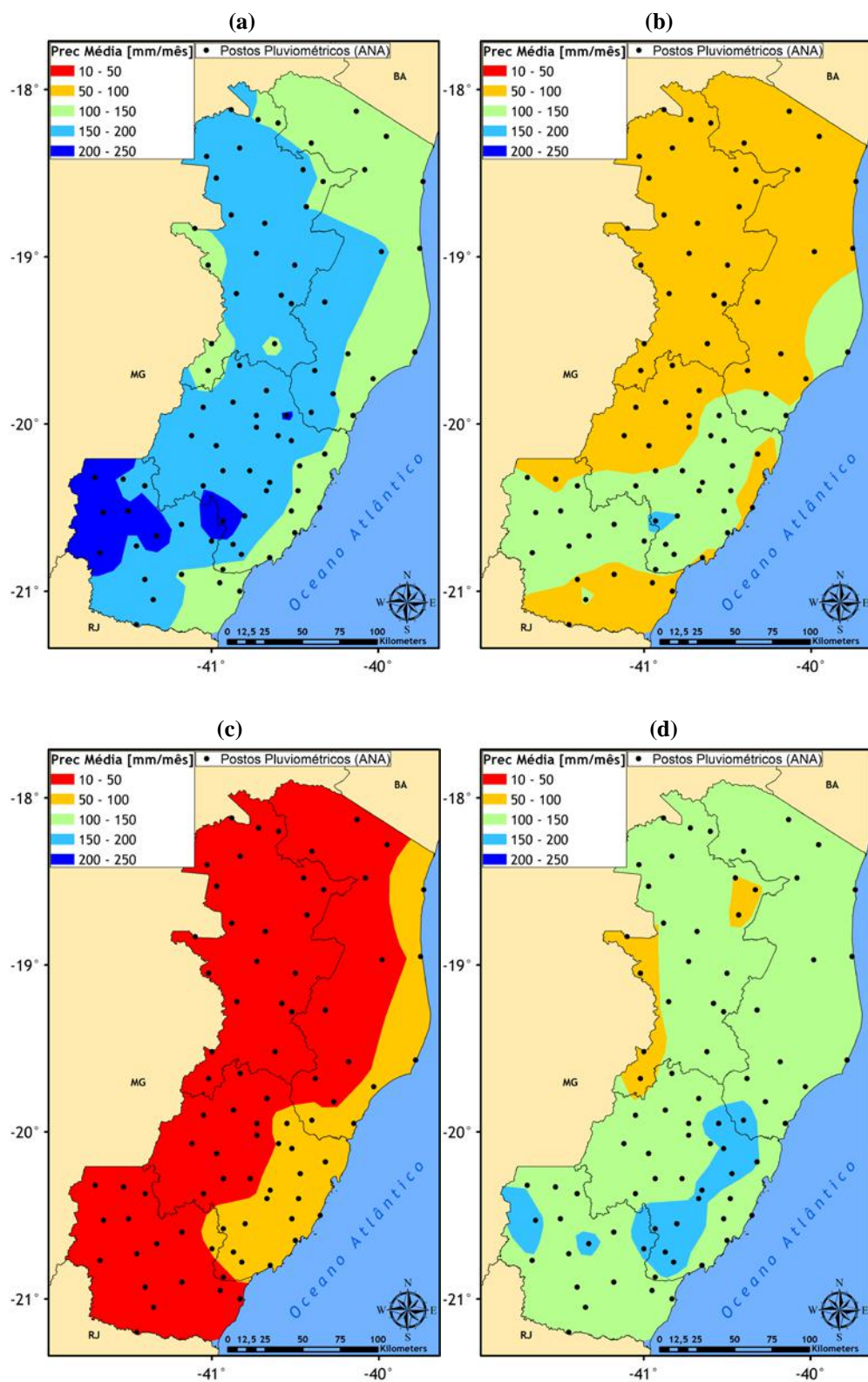


Figura 3.8 - Precipitação (mm/mês) média sazonal para o período 1971-2010: (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno, e (d) Primavera.

Como discutido anteriormente, o verão é o período mais chuvoso no estado devido principalmente à atuação da ZCAS. As áreas com os maiores totais pluviométricos durante esses meses são as regiões serranas, no sul da mesorregião Central e oeste da mesorregião Sul, com máximos de 241 e 248 mm/mês localizados nos postos pluviométricos Vila Nova Maravilha e Santa Cruz – Caparaó, respectivamente (Figura 3.8a). A Figura 3.8b mostra a precipitação média no outono, com destaque para o sul da Serra do Castelo (sul da mesorregião Central) onde ocorrem os maiores totais pluviométricos, sobretudo no posto Vila Nova Maravilha (167 mm/mês).

A estação do ano que apresenta os menores acumulados de chuva é o inverno (Figura 3.8c). Nesse período, todo o estado do ES sofre uma forte redução da precipitação chegando a um mínimo de 13 mm/mês em Baixo Guandu e Ibituba (oeste da mesorregião Noroeste). O adentramento do ASAS em direção ao continente e a baixa temperatura nessa época do ano, além das altas polares migratórias, promovem a redução da nebulosidade e, consequentemente, da precipitação. Os maiores valores são observados próximos ao litoral, devido à trajetória característica dos sistemas frontais que nessa época do ano deslocam-se mais rapidamente, em trajetórias mais zonais e sem adentrar no continente (Nobre *et al.*, 1998). Os maiores valores são encontrados no leste da mesorregião Central (Vila Nova Maravilha e Duas Bocas), alcançando até 91 mm/mês. Por último, a Figura 3.8d apresenta a precipitação média da primavera, época do ano em que o regime de chuvas começa a ganhar intensidade novamente, atingindo cerca de 205 mm/mês em Vila Nova Maravilha. A atuação de sistemas frontais com trajetórias continentais é essencial para o aumento da precipitação no estado na primavera.

De acordo com o apresentado acima, percebe-se que o ciclo anual da precipitação no ES acompanha o regime observado em toda a Região Sudeste do Brasil, ou seja, verão chuvoso e inverno seco, sendo a primavera mais chuvosa do que o outono. De forma geral, o sul da mesorregião Central é a área que apresenta as maiores quantidades de chuva, enquanto ocorre redução conforme se adentra ao continente, principalmente em direção ao noroeste do estado. No inverno o padrão é bem distinto, ocorrendo maior volume de chuva no litoral, em virtude do transporte de umidade do oceano em direção ao continente devido à circulação marítima ocasionada pelos anticiclones polares transientes, com redução da precipitação em direção ao interior do estado.

3.3 Sistemas Meteorológicos que Atuam na Região

As mudanças de tempo na área em estudo são provocadas pela passagem de sistemas transientes, sendo os mais frequentes as frentes frias, originadas principalmente na zona de convergência extratropical, localizada em torno de 60°S. Outros sistemas meteorológicos, tais como frentes quentes, cavados, ciclones extratropicais e subtropicais, sistemas convectivos de mesoescala, vórtices ciclônicos de altos níveis também atuam na área em estudo.

No período do verão, com o continente mais aquecido, a pressão atmosférica reduzida e a convecção tropical intensificada, é comum o estabelecimento da ZCAS (Kodama, 1992), causando nebulosidade e chuvas sobre as Regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. A ZCAS apresenta-se como uma banda de nebulosidade alongada, orientada no sentido noroeste-sudeste, estendendo-se desde a região amazônica até o Oceano Atlântico, com duração superior a quatro dias (Kousky, 1988). A ZCAS, por sua vez é parte do Sistema de Monção da América do Sul, caracterizado pelo pronunciado ciclo sazonal da precipitação, umidade e circulação (Zhou e Lau, 2001). Alguns dos sistemas listados acima são apresentados na Figura 3.9 através de imagens de satélite.

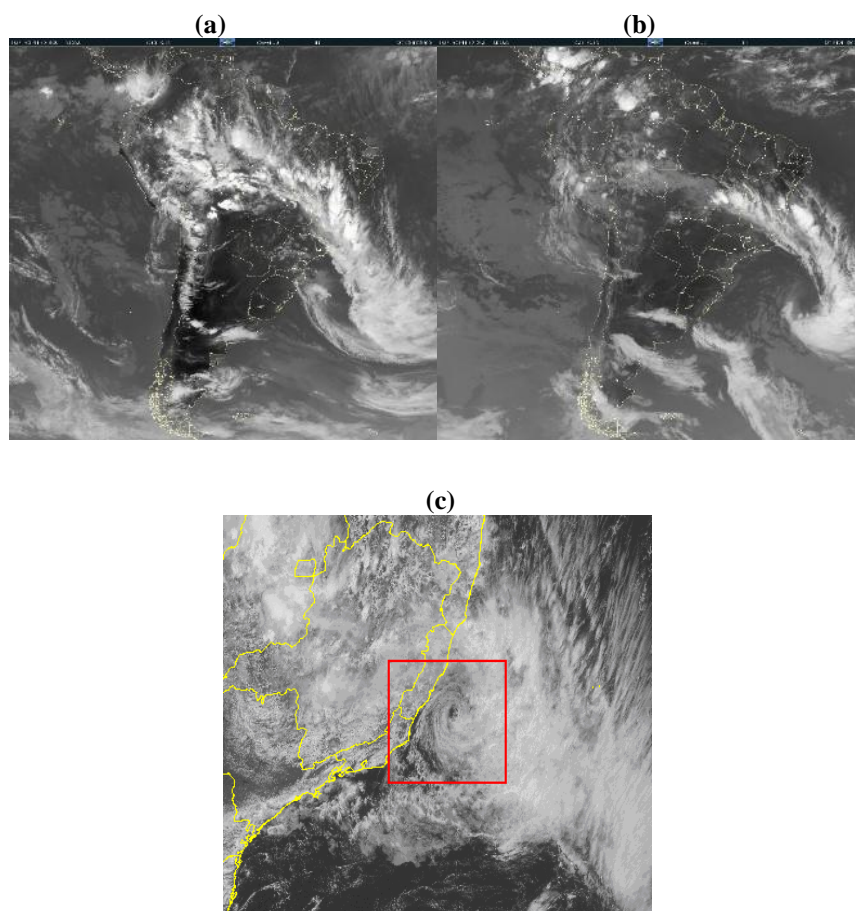


Figura 3.9 – Imagens de satélite no canal IR para os casos: a) ZCAS (02/01/2012 - 2100 UTC), b) ciclone extratropical associado a um sistema frontal (11/12/2011 - 1200 UTC) e c) ciclone de mesoescala (12/12/2006 - 1500 UTC). Fonte: CPTEC.

4. Climatologia e Tendências dos Indicadores de Extremos de Precipitação

Neste Capítulo apresenta-se uma análise detalhada do comportamento climatológico e das tendências dos indicadores de extremos de precipitação obtidos a partir de dados observacionais da ANA, no estado do Espírito Santo.

A Figura 4.1 apresenta os campos médios anuais e as tendências dos indicadores de extremos de precipitação (PRCPTOT, R95p, RX5day, R30mm e CDD) para o estado do Espírito Santo. Tais valores climatológicos para cada um dos indicadores e em cada posto pluviométrico estão listados na Tabela A.1, em anexo.

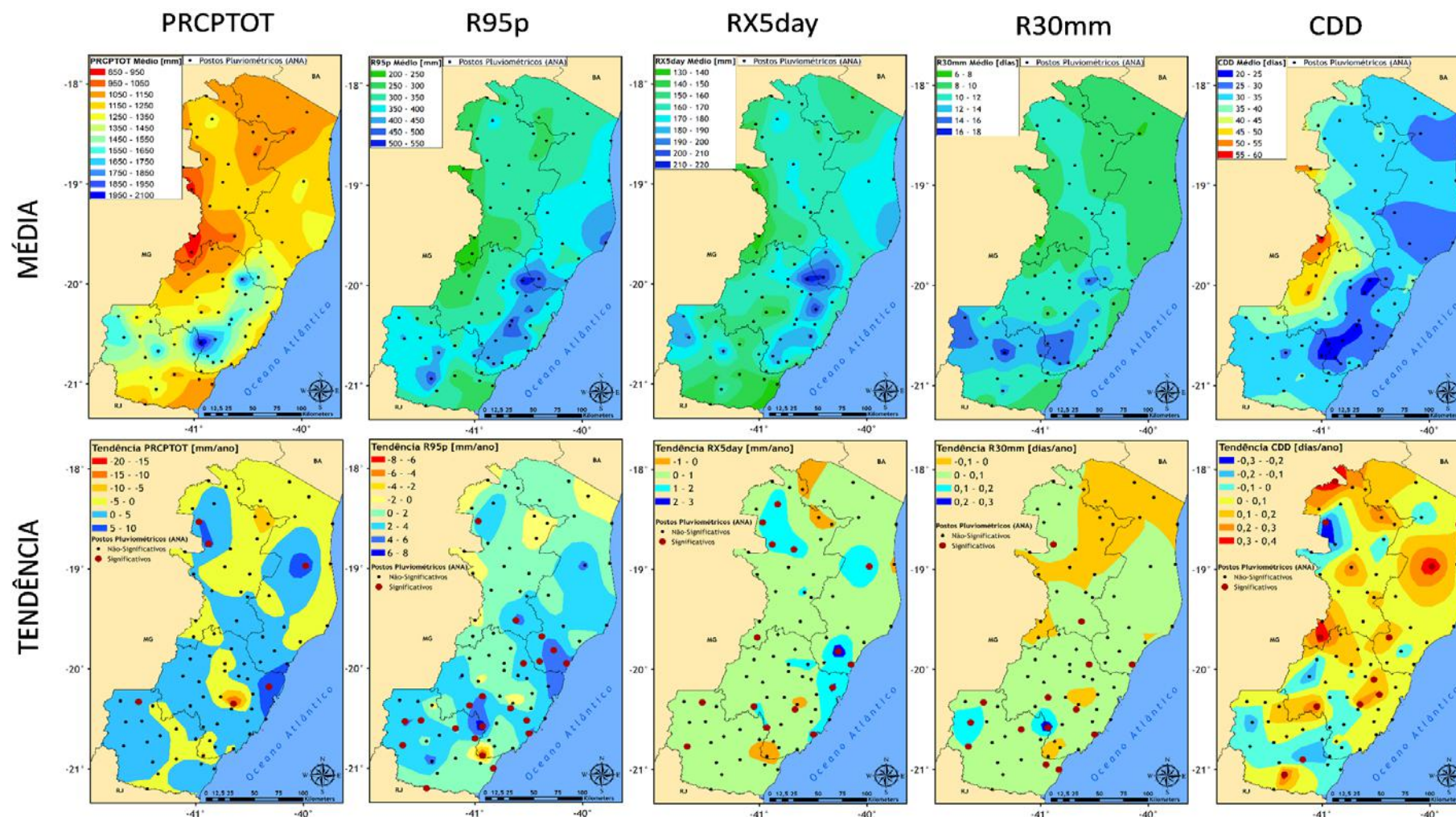


Figura 4.1 – Linha superior: Campos médios para o período 1971-2010 dos indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm), R95p (mm), RX5day (mm), R30mm (dias) e CDD (dias). Linha inferior: Campos de tendências dos indicadores de extremos de precipitação: PRCPTOT (mm/ano), R95p (mm/ano), RX5day (mm/ano), R30mm (dias/ano) e CDD (dias/ano). Os postos pluviométricos marcados com círculo vermelho na linha inferior indicam séries com tendências estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança.

Analisando-se inicialmente os campos médios dos indicadores (Figura 4.1, linha superior) observa-se que a região serrana, além de ser a mais chuvosa, exibindo os maiores totais pluviométricos anuais (PRCPTOT), apresenta também os maiores valores de chuvas fortes no ano (R95p), os máximos pluviométricos em 5 dias consecutivos (RX5day) e também o maior número de dias no ano com chuva acima de 30 mm (R30mm). Por outro lado, o extremo sudoeste da mesorregião Noroeste é a região menos chuvosa do Estado, exibindo os mínimos de PRCPTOT, de R95p, de RX5day e de R30mm.

No campo de PRCPTOT observam-se máximos próximos às regiões serranas, alcançando valores de até 2097 mm no sul da Serra do Castelo (posto Vila Nova Maravilha – altitude de 980 m) e reduzindo-se principalmente em direção ao norte do Estado. Por outro lado, o mínimo de PRCPTOT encontra-se no posto pluviométrico Baixo Guandu (873 mm), localizado a 70 metros de altitude, no sudoeste da mesorregião Noroeste.

Os campos médios dos indicadores R95p, RX5day e R30mm apresentam padrão similar à PRCPTOT, sendo que nas regiões serranas os valores são máximos e, de maneira geral, reduzem-se em direção ao norte e ao oeste do ES. Os valores mais elevados de R95p e de RX5day são de respectivamente 542 mm e 219 mm, ambos em Valsugana Velha, a norte da Serra do Castelo, enquanto que as menores intensidades de R95p ocorrem na mesorregião Noroeste (Mantenópolis: 210 mm), e para o RX5day a oeste da mesorregião Noroeste (Baixo Guandu: 131 mm). Em relação ao R30mm, o máximo encontra-se a sudeste da Serra do Caparaó com valores de até 17 dias em Burarama, enquanto o valor mais baixo localiza-se no oeste da mesorregião Noroeste (Baixo Guandu: 7 dias).

Com relação ao campo médio de CDD, nota-se como esperado que nas áreas montanhosas, onde a precipitação é mais abundante, observam-se os menores períodos de dias secos consecutivos no ano, atingindo um mínimo de 21 dias em Vila Nova Maravilha. No litoral, observam-se também valores reduzidos de CDD, onde provavelmente a brisa marítima e a convergência dos ventos úmidos junto à costa promovem aumento de nebulosidade com ocorrência de precipitação ao longo do ano. Por outro lado, o extremo sudoeste da mesorregião Noroeste, afastada do litoral e à sotavento da região montanhosa, é a região que apresenta o período seco mais prolongado, alcançando valores de até 58 dias sem chuva em Baixo Guandu. O padrão climatológico observado para os indicadores de extremos de precipitação reflete principalmente a interação entre a topografia local, a atuação dos sistemas transientes e a influência do Oceano Atlântico. A passagem de sistemas transientes pela região, favorece a

ocorrência da precipitação, que se torna mais intensa à barlavento das Serras do Castelo e do Caparaó e sofre redução à sotavento das mesmas montanhas, ocorrendo um mínimo pluviométrico no sudoeste da mesorregião Noroeste. Além disso, a brisa marítima ao soprar em direção ao continente, favorece a ocorrência de períodos mais curtos de dias secos consecutivos nas regiões próximas ao litoral, pois há convergência de ventos úmidos, gerando movimento ascendente, formação de nebulosidade e precipitação.

Analisando-se o comportamento das tendências dos indicadores de extremos de precipitação (Figura 4.1, linha inferior) observa-se inicialmente uma tendência geral de um clima mais úmido no Estado, contudo a maior parte das tendências (calculadas ao nível de confiança de 95%) não são estatisticamente significativas. Em cada um dos cinco mapas apresentados na Figura 4.1 (linha inferior), as estações cujas séries de dados apresentam tendências estatisticamente significativas estão marcadas com um círculo vermelho. Apenas para essas localidades, os valores das tendências são listados na Tabela 4.1 e agrupados nas quatro mesorregiões do estado (Litoral Norte, Noroeste, Central e Sul).

Tabela 4.1 - Valores estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% de cada indicador de extremo climático de precipitação para cada posto pluviométrico analisado. Os postos em lilás, azul, verde e cinza pertencem às mesorregiões Litoral Norte, Noroeste, Central e Sul, respectivamente.

<i>Num</i>	<i>Posto Pluviométrico</i>	<i>PRCPTOT</i> (mm/ano)	<i>R95p</i> (mm/ano)	<i>RX5day</i> (mm/ano)	<i>R30mm</i> (dia/ano)	<i>CDD</i> (dia/ano)
7	Aracruz		+5,7	+2,9		
17	Cavalinho		+3,5			+0,2
20	Conceição da Barra					+0,1
33	Fundão		+3,6			
60	Ponte Nova	+9,3		+1,7		+0,4
67	Santa Cruz - Litoral		+5,5	+1,1	+0,1	
2	Água Doce	+5,3	+3,5	+1,3		-0,3
10	Barra de São Francisco	+6,8		+1,3	+0,1	
18	Cedrolândia			+1,6		
19	Colatina - Corpo de Bombeiros		+4,5		+0,1	
27	Ecoporanga			+1,6		
32	Fazenda São Mateus					+0,4
38	Ibituba			+1,1		+0,4
6	Arace		+3,6	+1,1		+0,3
24	Domingos Martins	-19,6				+0,3
26	Duas Bocas					+0,2
28	Fazenda Fonte Limpa	+10,3		+2,2		
36	Guarapari		+4,4	+1,3	+0,07	
49	Marechal Floriano		+4,4	+0,8	+0,1	
64	Rio Novo do Sul		-7,3			
68	Santa Leopoldina					+0,2
74	São Rafael		+5,4		+0,1	
78	Valsugana Velha - Montante		+4,1		+0,03	
79	Vila Nova Maravilha		+8,0	+1,1	+0,3	
80	Vitória		+2,5			
8	Atílio Vivacqua					-0,2
12	Barra do Itapemirim		+2,0		+0,06	
21	Conceição do Castelo		+1,7		+0,05	
35	Guaçuí		+3,6	+0,6	+0,1	
37	Ibitirama		+4,2		+0,2	
40	Itaici		+4,0			
44	Iúna	+5,1		+1,0	+0,1	
45	Jacigua		+2,9			
51	Mimoso do Sul					+0,4
59	Ponte do Itabapoana		+0,5			
77	Usina Paineiras				+0,1	

Os padrões apresentados para as tendências de PRCPTOT, R95p, RX5day e R30mm exibem uma tendência geral positiva, indicando um clima mais úmido, enquanto o mapa de CDD mostra uma tendência de aumento dos dias secos consecutivos, o que sugere uma má distribuição da chuva ao longo do ano.

Dentre os indicadores apresentados na Tabela 4.1, destaca-se primeiramente R95p e em seguida RX5day e R30mm, com tendências positivas estatisticamente significativas respectivamente em 20, 15 e 14 postos pluviométricos, dentre os 80 analisados neste trabalho. Isso sugere, como já destacado em Zilli *et al.* (2016), que o clima no estado do ES está se tornando mais úmido devido principalmente ao aumento da precipitação acumulada nos eventos de chuvas extremas e devido a sua maior frequência de ocorrência. A precipitação anual (PRCPTOT) também aumenta, porém só exibe tendências estatisticamente significativas em 5 postos pluviométricos.

Com relação à distribuição espacial dos indicadores de extremos de precipitação dentro do Estado, observa-se que as mesorregiões Sul e Central são as que apresentam a maior quantidade de séries pluviométricas com tendências estatisticamente significativas. Na mesorregião Sul (Central) 11 dentre os 16 (12 dentre os 28) postos pluviométricos localizados nesta região, apresentam mudanças estatisticamente significativas em algum dos indicadores de extremos. Essas duas mesorregiões (Sul e Central) que são as mais chuvosas do Estado estão se tornando ainda mais úmidas.

Analisando-se o comportamento da tendência de cada indicador da Figura 4.1 (linha inferior) nota-se que as tendências de aumento de PRCPTOT com significância estatística estão concentradas no oeste da mesorregião Noroeste (Barra de São Francisco: +6,8 mm/ano), no centro da mesorregião Litoral Norte (Ponte Nova: +9,3 mm/ano), no nordeste da mesorregião Central (Fazenda Fonte Limpa: 10,3 mm/ano) e, também, uma elevação de menor taxa situada no noroeste da mesorregião Sul (Iúna: 5,1 mm/ano). Uma redução estatisticamente significativa ocorre apenas em um posto pluviométrico (Domingos Martins: -19,6 mm/ano), localizado no centro-leste da mesorregião Central.

Nota-se que as tendências observadas de aumento do indicador de chuvas fortes (R95p) estão presentes em praticamente todo o estado do ES, porém as maiores elevações com significância estatística estão localizadas no sul da mesorregião Noroeste (Colatina Corpo de Bombeiros: +4,5 mm/ano), sul da mesorregião Litoral Norte (Aracruz: +5,7 mm/ano), sul da mesorregião Central (Vila Nova Maravilha: +8 mm/ano) e no oeste da mesorregião Sul

(Ibitirama: +4,2 mm/ano). Há redução significativa de R95p apenas em um posto pluviométrico, Rio Novo do Sul, localizado próximo ao extremo sudeste da mesorregião Central, com valor de -7,3 mm/ano.

No mapa de tendência de RX5day não há tendências de redução estatisticamente significativas. As regiões que apresentam os maiores aumentos desse índice são o oeste da mesorregião Noroeste (Ecoporanga e Cedrolândia: +1,6 mm/ano), centro da mesorregião Litoral Norte (Ponte Nova: +1,7 mm/ano), sul da mesorregião Litoral Norte (Aracruz: +2,9 mm/ano) e nordeste da mesorregião Central (Fazenda Fonte Limpa: +2,2 mm/ano), todos com significância estatística.

Observa-se também no mapa de tendência de R30mm (Figura 4.1, linha inferior) apenas tendências estatisticamente significativas positivas, sendo as regiões com maiores elevações o sul da mesorregião Central (Vila Nova Maravilha: +0,3 dias/ano) e o oeste da mesorregião Sul (Ibitirama: +0,2 dias/ano).

Nas tendências de CDD predominam valores positivos. As regiões com aumento significativo do período de estiagem são encontradas no noroeste da mesorregião Noroeste (Fazenda São Mateus: +0,4 dias/ano), sudoeste da mesorregião Noroeste (Ibituba: +0,4 dias/ano), centro da mesorregião Litoral Norte (Ponte Nova: +0,4 dias/ano), sudoeste da mesorregião Litoral Norte (Cavalinho: 0,2 dias/ano), centro-leste da mesorregião Central (Domingos Martins: +0,3 dias/ano), sudoeste da mesorregião Central (Arace: 0,3 dias/ano) e sul da mesorregião Sul (Mimoso do Sul: +0,4 dias/ano). Já as tendências de diminuição de CDD cobrem uma área menor, concentrando-se no oeste da mesorregião Noroeste (Água Doce: -0,3 dias/ano) e centro-leste da mesorregião Sul (Atílio Vivacqua: -0,2 dias/ano).

A Figura 4.2 apresenta as séries temporais de PRCPTOT, R95p, RX5day, R30mm e CDD desde 1925 até 2013 para a estação Vitória. Essa estação foi escolhida por apresentar a série de dados mais longa dentre as demais localizadas no ES. Observa-se nos 5 gráficos uma grande variabilidade interanual. Tal variabilidade pode ser explicada por diversos fatores, tais como ocorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul, frequência, duração e intensidade de eventos de ZCAS e ainda outros sistemas meteorológicos que influenciam localmente ou remotamente na atuação de sistemas transientes na região em estudo. Uma consulta ao Boletim Climanálise do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE; <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>) revela por

exemplo, que enquanto em 1998 (ano de El Niño) ocorreram apenas 2 eventos de ZCAS, em 2013 (ano neutro com relação ao fenômeno ENOS) foram 11 eventos.

Nota-se em todos os gráficos uma tendência de aumento, sendo mais pronunciadas para os indicadores de extremos (principalmente R95p e RX5day) do que para PRCPTOT. A tendência de aumento de CDD indica má distribuição da chuva ao longo do ano, pois a medida que a precipitação aumenta e o período de estiagem também aumenta, significa que a chuva se torna mais concentrada em certos períodos de tempo. Analisando-se o comportamento do indicador R95p, que é o indicador que apresenta as maiores taxas de elevação, observam-se detalhes interessantes. O valor do percentil 95 para a estação Vitória é de 43,4 mm. Dessa forma, toda a chuva diária ocorrida em Vitória com valor superior a 43,4 mm é acumulada a cada ano para compor a variável R95p. O valor de R95p variou de 144 mm em 1998 a 1112 mm em 2013. No ano de 1998 ocorreram apenas 2 eventos de chuvas acima do percentil 95 e em 2013 foram 13 eventos, sendo que em 5 deles a chuva diária excedeu 100 mm. Isso demonstra a grande variabilidade interanual dos eventos de chuva extrema na região. Ressalta-se também na Figura 4.2b que R95p elevou de aproximadamente 300 mm/ano na década de 1920 para 500 mm/ano na década de 2010.

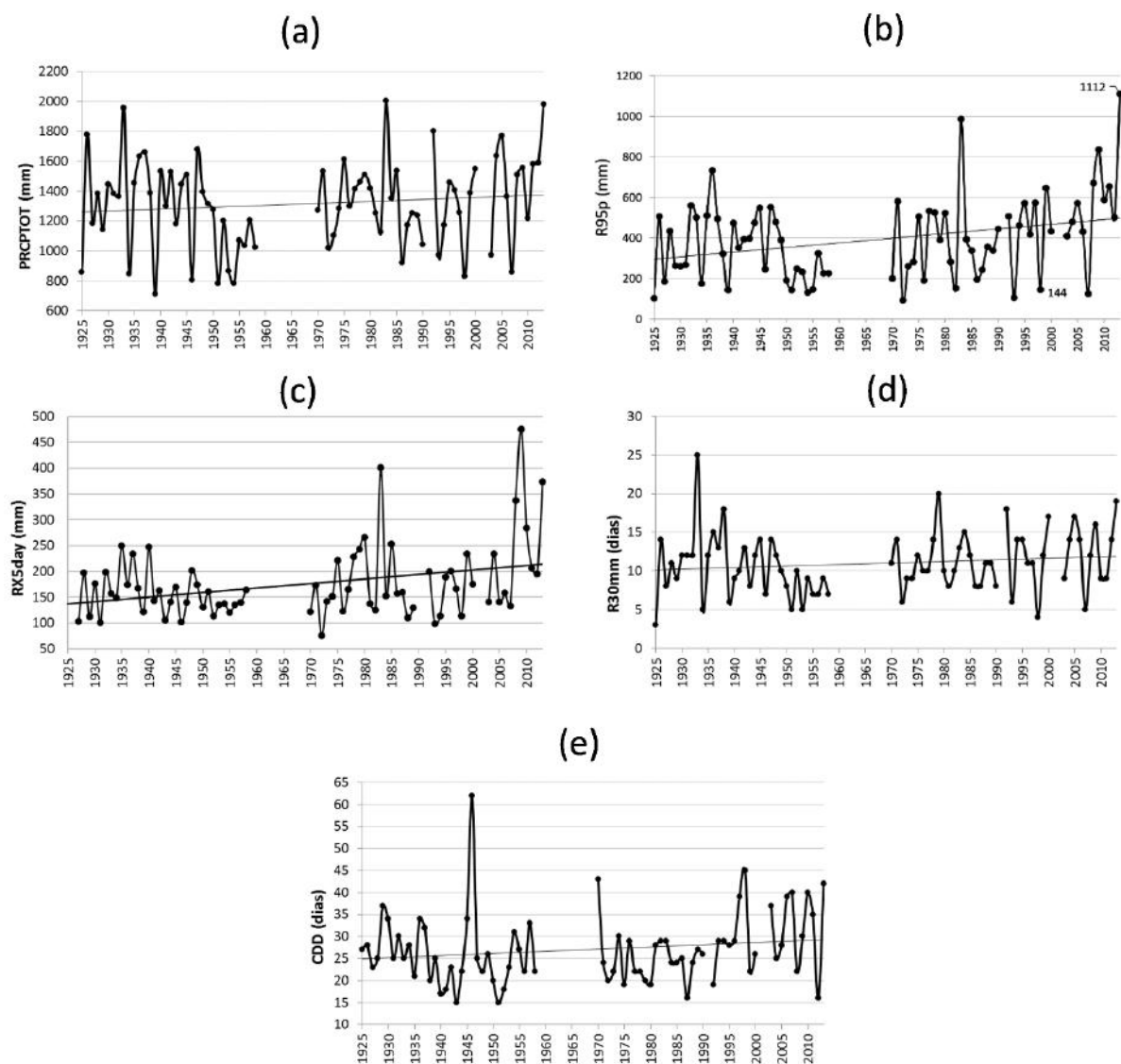


Figura 4.2 – Séries temporais dos indicadores: (a) PRCPTOT (mm), (b) R95p (mm), (c) RX5day (mm), (d) R30mm (dias) e (e) CDD (dias) para o posto pluviométrico Vitória no período de 1925 a 2013.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizam-se dados diários observados de precipitação da ANA no Estado do Espírito Santo com o objetivo principal de detectar mudanças no comportamento da precipitação e dessa forma contribuir com estudos de vulnerabilidade e adaptação à mudança climática. Inicialmente são elaboradas as climatologias dos indicadores de extremos de precipitação (PRCPTOT, R95p, RX5day, R30mm e CDD) no período 1971-2010 e, em seguida, avalia-se as tendências observadas desses mesmos índices.

Os resultados da climatologia dos indicadores de extremos de precipitação mostram que os máximos de PRCPTOT se encontram à barlavento da Serra do Castelo (2097 mm), localizada na mesorregião Central e também sobre a Serra do Caparaó (1890 mm), localizada no oeste da mesorregião Sul. A precipitação anual é reduzida em direção ao norte do estado, onde um mínimo de 873 mm ocorre sobre o sul da mesorregião Noroeste, uma área afastada do oceano e à sotavento da Serra do Castelo. A distribuição espacial dos demais índices de precipitação acompanham o padrão descrito para PRCPTOT, ou seja, máximos de R95p, RX5day e R30mm sobre as regiões serranas e mínimos na mesorregião Noroeste. Em média ocorrem no ano entre 7 e 17 dias com chuva acima de 30 mm (R30mm) no Estado. O número de dias secos consecutivos (CDD) é menor nas áreas serranas e também próximo ao litoral, onde a brisa marítima e a convergência dos ventos úmidos junto à costa promovem aumento de nebulosidade com ocorrência de precipitação ao longo do ano. Por outro lado, os maiores valores de CDD são observados no extremo sudoeste da mesorregião Noroeste. Os valores de CDD oscilam entre 21 dias em Vila Nova Maravilha (no sul da mesorregião Central) e 58 dias em Baixo Guandu (no sudoeste da mesorregião Noroeste).

Os resultados relacionados às tendências dos indicadores de extremos de precipitação mostram que a maior parte das mudanças estatisticamente significativas são de aumento da precipitação acumulada nos eventos de chuva forte (R95p e RX5day), assim como de aumento na frequência de ocorrência de chuvas fortes (R30mm) em várias localidades, principalmente nas mesorregiões Sul e Central que já são as mais úmidas do Estado. Por outro lado, aumentos de CDD predominam, indicando um prolongamento da estação seca, e portanto, indicando uma má distribuição das chuvas ao longo do ano.

Considerando todos os resultados obtidos nesta pesquisa, é possível afirmar que o clima do Estado do Espírito Santo nos últimos anos tem se tornado mais úmido. Sinais similares de tendência de aumento nos indicadores de extremos de precipitação, principalmente nos eventos

de chuva forte concordam com os resultados encontrados por outros pesquisadores no Brasil e na América do Sul.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M.G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K.R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M. e VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. 2006. Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111: D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.

ALLEN, M.R. e INGRAM W.J. 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle, *Nature*, 419, p. 224–232.

ÁVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A.; BROMWICH, D. e AMORIM, M. 2016. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil. *Environmental Research Letters*, 11(11), 114029.

BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. e CAMILLONI, I.A. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 93(1), 19-33.

DERECZYNSKI, C.; SILVA, W.L. e MARENGO, J. 2013. Detection and projections of climate change in Rio de Janeiro, Brazil. *American Journal of Climate Change*, doi: 10.4236/ajcc.2013.21003.

DUFEEK, A.S. e AMBRIZZI, T. 2008. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 93, p. 167-178.

EASTERLING, D.; MEEHL, G.; PARMESAN, C.; CHANGNON, S.; KARL, T. e MEARNES, L. 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science*, v. 289, p. 2068–2074.

FEITOZA, L. R.; SCÁRDUA, J. A.; SEDIYAMA, G. C.; OLIVEIRA, L. M. e VALLE, S. S. 1979. Estimativa das temperaturas médias mensais e anual do Estado do Espírito Santo. *Revista Centro de Ciências Rurais, Santa Maria*, v.9, n.3, p.279-291.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN TANK, A. M. G. e PETERSON, T. 2002. Observed Coherent Changes in Climatic Extremes during the Second Half of the Twentieth Century. *Climate Research.*, v. 19, p. 193–212.

GOOSSENS, C., e BERGER, A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. IN: *Annales Geophysicae*, v. 4, n. 4, p. 385.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J. e CORRADI, V. 2006. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of climate*, 19(8), 1490-1512.

HELD I.M. e SODEN B.J. 2006. Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *J Climate* 19:5686–5699.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2009. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, p. 465.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Brussels.

KARL, T.; NICHOLLS, N. e GREGORY, J. 1997. The Coming Climate. Sci. Am., v. 276, p. 54–59.

KENDALL, M.G. 1975. Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London.

KODAMA, Y. 1992. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 70(4), p. 813-836.

KOUSKY, V. E. 1988. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. Revista Brasileira de Meteorologia, 3(1), p. 217-231.

LIEBMANN, B. e ALLURED, D. 2005. Daily precipitation grids for South America. Bull. Am. Meteorol. Soc. 86: p. 1567–1570.

LUIZ SILVA, W. e DEREZYNSKI, C.P. 2014. Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências 37, 123-138.

LUIZ SILVA, W.; DERECHYNSKI, C.P.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B.J.; TRISTÃO, L. e RUGGERI, J. 2015. Observed trends in climate extreme indicators of temperature and precipitation in the state of Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 30(2), 181-194.

MANN, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13 245–59.

MARENGO, J. e CAMARGO, C.C. 2007. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology* 28: p. 893–904, doi:10.1002/joc.1584.

MARENGO, J.A. e VALVERDE, M.C. 2007. Caracterização do Clima no Século XX e Cenário de Mudanças de Clima para o Brasil no século XXI usando Modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência, Campinas, Edição nº 8, Mudanças Climáticas*. p. 5-28.

MARENGO, J.A.; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O. e RENOM, M. 2010. An Intercomparison of Observed and Simulated Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century: part 2: Historical Trends. *Climatic Change*, v. 98, p. 509–529.

MEEHL, G.; KARL T.; EASTERLING, D.; CHANGNON, S.; PIELKE, R.; CHANGNON, D.; EVANS, J.; GROISMAN, P.; KNUTSON, T.; KUNKEL, K.; MEARNS, L.; PARMESAN, C.; PULWARTY, R.; ROOT, T.; SYLVES, R.; WHETTON, P. E ZWIERS, F. 2000. An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts and Model Projections. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, v. 81, p. 413–416.

MULLER, C.J.; O’GORMAN P.A. e BACK L.E. 2011. Intensification of precipitation extremes with warming in a cloud-resolving model, *J. Clim.*, 24, p. 2784–2800.

NOBRE, C.A.; MATTOS, L.F.; DEREZYNSKI, C.P.; TARASOVA, T.A.; TROSNIKOV, I.V. 1998. Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, n. D24, p. 31809-31820.

NOBRE, C.A.; YOUNG, A.F.; SALDIVA, P.; MARENGO, J.A.; NOBRE, A.D.; JUNIOR, S.A.; SILVA, G.C. M. e LOMBARDO, M. 2010. Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. Sumário Executivo.

NUNES, L.H.; VICENTE, A.K. e CANDIDO, D.H. 2009. CLIMA DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL. IN: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; JUSTI, M.G.A. e DIAS, M.A.F.S. *Tempo e Clima no Brasil*. Editora Oficina de textos, p. 244-258.

OBREGÓN, G. e MARENGO, J.A. 2007. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias e Extremas. Relatório nº 2, MMA, 87 p.

O'GORMAN, P.A. e SCHNEIDER, T. 2008: The hydrological cycle over a wide range of climates simulated with an idealized GCM. *J. Climate*, 21, p. 3815–3832.

PALL P.; ALLEN M.R. e STONE D.A. 2007. Testing the Clausius-Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO2 warming. *Clim Dyn* 28: p. 351–363.

PINHEIRO, A.; GRACIANO, R.L.G. e SEVERO, D.L. 2013. Análise de Tendência das Séries Temporais de Precipitação da Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(3).

RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J.A.; PENALBA, O. e RENOM, M. 2010. An Intercomparison of Model-Simulated in Extreme Rainfall and Temperature Events during the Last Half of the Twentieth Century. Part 1: Mean Values and Variability. *Climatic Change*, v. 98, p. 493–508, doi: 10.1007/s10584-009-9742-8.

SAHA, S., MOORTHY, S., PAN, H.L., WU, X., WANG, J., NADIGA, S., ... e LIU, H. 2010. The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91(8), p. 1015-1057.

SANTOS, D.N.; SILVA, V. DE P.R. DA; SOUSA, F. DE A.S. DE e SILVA, R.A. 2010. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p. 492-500.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A. e DIAS, P.L.S. 1998. South America. In *Meteorology of the southern hemisphere*. American Meteorological Society, p. 119-139.

SEN, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistics Association*, 63: p. 1379-1389.

SILVA, G.B. e AZEVEDO, P.D. 2008. Índices de tendências de mudanças climáticas no Estado da Bahia. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 5(3).

SKANSI, M.M.; BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; GROENING, J.A.A.; BENTANCUR, O.J. e ROJAS, C.O. 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100, p. 295-307.

SNEYERS, R. 1975. Sur L'analyse Statistique des Series D'observations. Genève: Organisation Météorologique Mondiale: p. 192.

TEIXEIRA, M.S. e SATYAMURTY, P. 2011. Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern Brazil during 1960–2004. *Journal of Climate* 24.

TRENBERTH, K.E. 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Clim Change* 42: p. 327–339.

ZHANG, X. e YANG, F. 2004. RClimDex (1.0) – User Manual. Climate Research Branch Environment. Canada Downsview.

ZHOU, J. e LAU, K.M. 2001. Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America. *International Journal of Climatology*, 21(13), p. 1623-1644.

Zilli, M.T.; Carvalho, L.M.V.; Liebmann, B. e Silva Dias, M.A. 2016. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37: 2269–2279.

ANEXO

Tabela A.1 – Valores climatológicos (1971-2010) de cada indicador de extremo de precipitação para cada posto pluviométrico utilizado.

Num	Posto Pluviométrico	PRCPTOT (mm)	R95p (mm)	RX5day (mm)	R30mm (dias)	CDD (dias)
1	Afonso Cláudio	1130,9	245,4	165,5	10,50	52,4
2	Água Doce	1191,3	324,8	164,8	10,08	32,4
3	Águia Branca	1240,0	354,7	172,2	10,40	35,8
4	Alto Rio Novo	905,7	261,6	133,7	7,69	37,9
5	Anchieta	1142,6	333,6	149,9	9,52	30,7
6	Arace	1348,7	351,9	158,4	12,00	31,8
7	Aracruz	1321,2	344,7	186,0	10,47	34,2
8	Atílio Vivacqua	1099,9	260,8	143,8	9,76	36,0
9	Baixo Guandu	873,6	235,4	130,8	7,37	58,1
10	Barra de São Francisco	1100,6	314,3	162,0	9,71	35,3
11	Barra de São Gabriel	1155,4	341,4	165,8	9,80	32,5
12	Barra do Itapemirim	1032,3	280,7	133,2	8,34	32,7
13	Barra Nova	1171,3	365,6	174,2	9,59	31,6
14	Burarama	1724,3	446,2	192,4	17,43	28,0
15	Cachoeira Suíça	1427,8	382,0	168,6	11,64	23,5
16	Caldeirão	1205,6	344,7	180,2	10,49	33,8
17	Cavalinho	1346,5	395,7	186,4	11,38	31,5
18	Cedrolândia	1199,6	318,7	172,7	10,49	33,4
19	Colatina - Corpo de Bombeiros	1028,0	270,7	151,6	9,31	37,0
20	Conceição da Barra	1198,8	374,0	179,8	9,68	28,6
21	Conceição do Castelo	1302,3	335,7	145,7	12,39	33,7
22	Córrego da Boa Esperança	1030,3	290,4	160,5	8,71	33,8
23	Cotaxe	1068,6	288,9	162,8	9,18	36,0
24	Domingos Martins	1673,6	477,2	179,2	13,08	26,2
25	Duas Barras	1636,1	420,5	188,0	14,67	24,5
26	Duas Bocas	1541,2	458,3	213,6	13,20	34,1
27	Ecoporanga	1308,6	370,3	176,8	11,66	30,2
28	Fazenda Fonte Limpa	1427,8	389,2	171,2	9,10	34,5
29	Fazenda Jucuruaba	1309,2	340,6	171,8	10,80	28,3
30	Fazenda Limoeiro	1090,8	304,1	149,2	8,78	31,0
31	Fazenda Monte Alegre	1296,8	516,1	147,8	11,32	30,2
32	Fazenda São Mateus	1158,0	297,6	159,9	10,29	37,1
33	Fundão	1544,0	493,4	211,3	13,33	26,3
34	Garrafão	1273,8	317,7	159,1	11,07	38,0
35	Guaçuí	1540,1	402,7	171,9	14,62	33,6
36	Guarapari	1275,4	396,0	177,6	10,63	26,7
37	Ibitirama	1641,1	406,5	192,4	14,83	32,7
38	Ibituba	896,8	210,3	140,0	8,21	50,7
39	Iconha - Montante	1562,8	450,6	189,2	14,69	24,1
40	Itaici	1398,1	366,3	159,9	13,19	34,3

41	Itaimbé	1092,9	318,6	173,1	10,07	42,9
42	Itarana	1131,2	317,7	173,3	10,56	41,3
43	Itauninhas	1040,7	324,3	150,8	7,78	27,4
44	Iúna	1219,6	342,4	151,6	10,30	38,5
45	Jacigua	1615,8	420,2	169,2	14,29	22,1
46	Jacupemba	1196,3	346,2	160,8	9,88	28,2
47	Laranja da Terra	1080,6	264,1	168,2	9,98	48,8
48	Mantenópolis	986,8	209,8	141,0	9,00	51,8
49	Marechal Floriano	1579,4	508,0	174,2	13,50	23,2
50	Matilde	1774,2	425,4	185,4	15,79	22,7
51	Mimoso do Sul	1393,4	328,3	169,3	13,05	34,9
52	Morro D'anta	1070,8	321,7	154,0	8,03	30,8
53	Novo Brasil	1148,9	308,9	173,6	10,30	31,9
54	Pancas	1185,6	318,8	158,9	10,12	33,4
55	Patrimônio Santa Luzia do Norte	1080,4	320,2	163,9	9,02	34,6
56	Patrimônio XV	1079,9	304,6	156,8	9,27	36,1
57	Perobinha	1267,1	308,1	147,1	11,20	30,2
58	Ponta da Fruta	1164,0	315,8	160,0	9,59	28,8
59	Ponte do Itabapoana	1096,3	304,2	141,4	8,63	37,5
60	Ponte Nova	1267,1	355,1	178,3	9,78	31,4
61	Povoação	1294,9	474,5	189,9	9,76	28,5
62	Riacho	1204,7	335,8	157,2	8,68	27,2
63	Rio Bananal	1228,1	369,9	165,4	10,12	28,7
64	Rio Novo do Sul	1283,2	330,7	163,6	11,44	31,7
65	Rive	1372,6	332,8	158,0	12,40	32,3
66	Santa Cruz - Caparaó	1553,6	378,3	182,5	14,90	34,6
67	Santa Cruz - Litoral	1280,4	406,1	168,6	10,20	36,6
68	Santa Leopoldina	1497,1	445,0	185,9	11,49	27,6
69	Santa Maria do Jetibá	1246,4	370,3	168,0	10,61	27,8
70	Santo Agostinho	1148,8	266,4	148,9	10,07	37,5
71	São João da Cachoeira Grande	1063,6	289,3	165,8	9,17	32,9
72	São João de Petrópolis	1061,1	306,1	164,5	9,05	42,7
73	São João do Sobrado	1095,9	290,9	163,0	9,95	33,8
74	São Rafael	1212,3	299,9	143,0	8,14	41,4
75	Serraria	1232,9	338,7	166,7	10,95	29,8
76	Usina Fortaleza	1411,9	344,5	159,7	12,55	37,0
77	Usina Paineiras	1143,4	306,8	143,7	10,07	31,0
78	Valsugana Velha - Montante	1890,7	542,2	219,3	15,48	21,6
79	Vila Nova Maravilha	2097,6	394,0	161,7	15,69	21,4
80	Vitória	1361,1	446,1	194,7	11,58	27,5